



Regione Puglia
 Provincia di Foggia
 Comuni di Troia e Lucera



Potenziamento del Parco Eolico di Troia San Vincenzo

Codifica proponente:

IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.
TSV	ENG	REL	00117	00

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA

Numero documento:

Commissa	Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2 3 2 2 0 2	D	R	0 1 1 7	0 0

Proponente:

ERG Eolica San Vincenzo



PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



PROGETTO ENERGIA S.R.L.

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)
 Tel. +39 0825 891313
 www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Progettista:

Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
REVISIONI	00	25.09.2023	EMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	I. CIRIELLO	D. LO RUSSO	M. LO RUSSO

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	METODOLOGIA ED IPOTESI.....	4
2.1.	FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA DELLA PALA.....	4
2.2.	ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE.....	4
2.2.1	DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE.....	5
2.3.1	ROTTURA (APERTURA) DELL'ESTREMITÀ DI PALA.....	6
3.	LEGGE DEL MOTO.....	6
4.	CALCOLO GITTATA DELLA PALA.....	8
4.1.	CALCOLO DEL BARICENTRO.....	8
4.2.	CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA.....	8
4.3.	CALCOLO DI HG.....	9
4.4.	CALCOLO DELLA GITTATA DELLA PALA.....	9
5.	CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA.....	11
5.1.	CALCOLO DEL BARICENTRO.....	11
5.2.	CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA.....	11
5.3.	CALCOLO DI HG.....	12
5.4.	CALCOLO DELLA GITTATA DEL FRAMMENTO.....	12
6.	CONCLUSIONI SULLA GITTATA MASSIMA.....	13
7.	ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI SENSIBILI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO.....	14
8.	VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA.....	17
9.	CONCLUSIONI.....	17

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta con lo scopo di analizzare gli effetti della rottura degli organi rotanti dell'impianto di produzione di energia rinnovabile finalizzata all'ottenimento dei permessi necessari all'**ammodernamento complessivo (repowering) di un impianto eolico esistente, sito nel comune di Troia** in provincia di Foggia, realizzato con il permesso di costruire rilasciato dalla Città di Troia (FG), n. 70 del 11/12/2003 e successive varianti: n.11 del 17/02/2004, n.90 del 05/10/2004 e n.18 del 14/07/2005, previa esclusione di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale con D.D. del settore ecologia 368/2003, di proprietà della società *ERG Eolica San Vincenzo*.

L'impianto eolico esistente è costituito da 21 aerogeneratori, ciascuno con potenza di 2MW, per una potenza totale di impianto pari a 42 MW, posto nella località denominata Monte S. Vincenzo, a Nord- Est del centro abitato di Troia, con opere di connessione ricadenti ancora nel Comune di Troia (FG), in quanto il cavidotto in media tensione interrato raggiunge la Sottostazione AT/MT, a sua volta connessa alla Rete Elettrica Nazionale nel Comune di Troia. L'impianto eolico appena descritto è definito nel seguito **"Impianto eolico esistente"**.

L'ammodernamento complessivo dell'impianto eolico esistente, oggetto della presente valutazione, consta invece nell'installazione di 10 aerogeneratori con diametro del rotore massimo di 175 m, altezza massima complessiva di 220 m e potenza unitaria di 7,2 MW, per una potenza totale pari a 72 MW, da realizzare nel medesimo sito. In particolare, in agro di Troia si installeranno 8 aerogeneratori, mentre in agro di Lucera, nei pressi del confine comunale con Troia, saranno installati 2 aerogeneratori. Il tracciato dei cavidotti ricalcherà in buona parte quello attuale, con modifiche dove necessario, ma con attenzione a contenere l'impatto complessivo. Si prevede inoltre l'elevazione del livello di tensione nominale del cavidotto dagli attuali 20 a 30kV. Infine, si rendono necessari interventi di adeguamento all'interno della stazione elettrica d'utenza esistente, con sostituzione del solo trasformatore. Il Progetto, nella configurazione innanzi descritta, viene definito nel seguito **"Progetto di ammodernamento"**.

Nel caso in cui sia riscontrata la presenza di fabbricati all'interno dell'area di gittata degli elementi rotanti verranno analizzate le caratteristiche degli stessi ai fini di definire se debbano effettivamente considerarsi ricettori.

Nei paragrafi seguenti è riportata la procedura seguita per il calcolo della gittata massima, considerando un angolo di lancio variabile, sia di una pala che di una parte terminale di essa di m 5, relativamente al seguente aerogeneratore previsto in progetto:

Tipo WTG
Vestas V172 - HH 134m – 7,2 MW

e ci si è posti nell'ipotesi di distacco della stessa nel punto di attacco sul mozzo, punto di maggiore sollecitazione, per evidente effetto di intaglio dovuto al collegamento.

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo in esame, sono le più gravose possibili, in modo da trovarci nella situazione maggiormente cautelativa.

Il tipo di aerogeneratore previsto per l'impianto in oggetto (aerogeneratore di progetto) è ad asse orizzontale con rotore tripala e una potenza pari di 7,20 MW, avente le caratteristiche principali di seguito riportate:

- rotore tripala a passo variabile, di diametro pari a 172 m, posto sopravvento alla torre di sostegno, costituito da 3 pale generalmente in resina epossidica rinforzata con fibra di vetro e da mozzo rigido in acciaio;
- navicella in carpenteria metallica con carenatura in vetroresina e lamiera, in cui sono collocati il generatore elettrico, il moltiplicatore di giri, il convertitore elettronico di potenza, il trasformatore BT/MT e le apparecchiature idrauliche ed elettriche di comando e controllo;
- torre di sostegno tubolare troncoconica in acciaio;
- altezza complessiva fuori terra dell'aerogeneratore pari a 220,00 m.

2. METODOLOGIA ED IPOTESI

Per il calcolo della massima gittata si considerano le seguenti ipotesi:

- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- La riduzione della velocità periferica è pari al 30%, per tener conto degli effetti della resistenza dovuta al mezzo in cui si svolge il moto (aria) e per considerare le forze di resistenza che si generano al momento di rottura della pala;
- Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo θ ;
- La velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono i seguenti.

VESTAS V172 - HH 134m – 7,2 MW

- Altezza della torre $H = 134$ m
- Diametro del rotore $D = 172$ m, quindi lunghezza della pala 86 m
- Velocità di rotazione $V = 9,50$ rpm.

2.1. FORZE AGENTI SULLA TRAIETTORIA DELLA PALA

La determinazione delle forze e dei momenti agenti sulla pala a causa di una rottura istantanea, durante il moto rotatorio, è molto complessa. La traiettoria iniziale è determinata principalmente dall'angolo di lancio e dalle forze generalizzate inerziali agenti sulla pala. Queste includono anche, per esempio, oltre all'impulso anche i momenti di *flapwise*, *edgewise* e *pitchwise* agenti al momento del distacco. 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 iniziale. Le forze inerziali sono modellate considerando un flusso *irrotazionale e stazionario*.

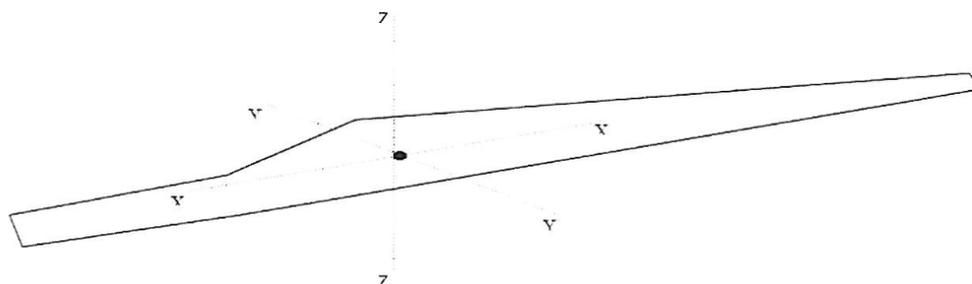


Figura 1 – Sistema coordinate (YY -- Flapwise, XX - Pitchwise, ZZ - Edgewise)

2.2. ESPERIENZE E NOTE STATISTICHE

È necessario enfatizzare che 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. In accordo a tale norma le pale degli aerogeneratori sono considerate *"fail safe"*.

Questo paragrafo è stato redatto al fine di presentare alcuni degli elementi fondamentali per poter valutare la reale possibilità del distacco di una pala, o di frammenti di questa, dagli aerogeneratori.

L'esperienza pratica ha mostrato che in caso di distacco di pala o parti di essa il moto è stato di tipo "rotazionale complesso" e le distanze raggiunte sono normalmente risultate inferiori a quelle stimate con i calcoli semplificati qui riportati.

Frammenti di pala, solitamente di piccole dimensioni, per la maggior parte staccatisi a causa di azioni esterne (tipica la fulminazione atmosferica) o imperizia umana, sono stati ritrovati a non più di 40-50 m dalla base dell'aerogeneratore.

Tralasciando gli incidenti dovuti a cause eccezionali (uragani, tifoni), nei successivi paragrafi vengono descritti alcuni eventi e la valutazione tecnica alla base dell'analisi dei rischi sviluppata per eliminare la possibilità di reiterazione dell'incidente.

2.2.1 DISTACCO DI UNA DELLE PALE DAL ROTORE

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 il mozzo.

In occasione di tali tipi di evento, la pala ha raggiunto il terreno ad una distanza inferiore ai cento metri.

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.

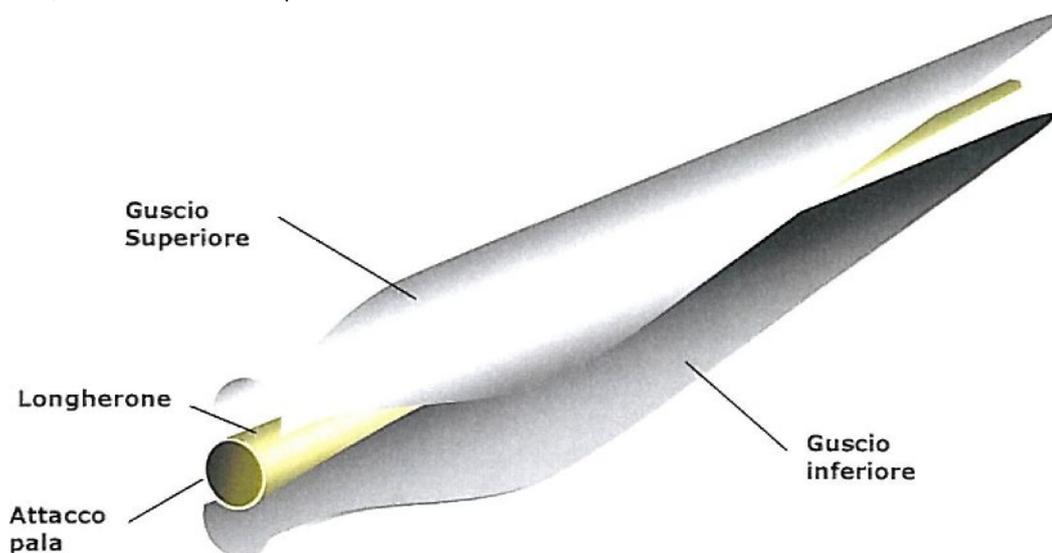


Figura 2 – Componenti di una pala

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 e, per questo motivo, è previsto un controllo di tale serraggio durante le operazioni di manutenzione programmata della turbina.

L'evento si è manifestato a causa di incorretti interventi di manutenzione programmata cui l'aerogeneratore va sottoposto così come riportato nel manuale del costruttore. Per cui l'errata verifica del serraggio ed una plausibile riduzione del precarico possono aver determinato la rottura per fatica dei prigionieri ed al distacco della pala.

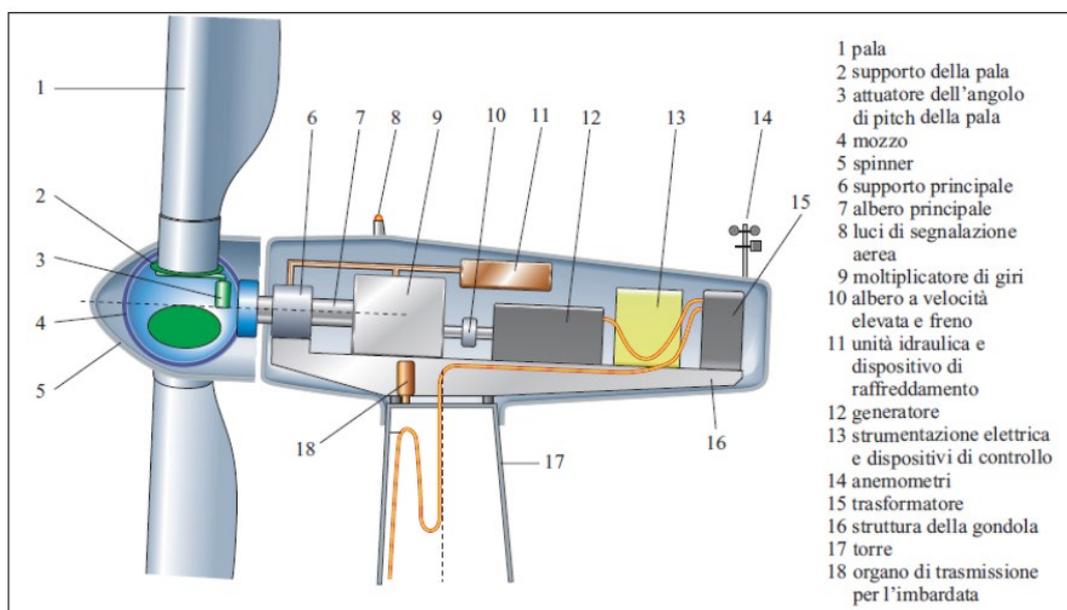


Figura 3 – Componenti del rotore

2.3.1 ROTTURA (APERTURA) DELL'ESTREMITÀ DI PALA

Questo tipo di incidente si è quasi sempre manifestato in concomitanza di fulminazioni di natura atmosferica.

Tutte le pale prodotte sono dotate di un sistema di drenaggio della corrente di fulmine costituito da ricettori metallici posti all'estremità di pala e lungo l'apertura della pala, da un cavo che collega i ricettori alla radice pala e da un sistema di messa a terra. In questo modo si riesce a drenare una buona parte delle correnti indotte dalle fulminazioni atmosferiche senza danni alle pale.

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. È possibile che frammenti di guscio possano staccarsi, ma si tratta comunque di parti molto leggere in confronto alla resistenza che oppongono all'aria e che quindi non possono essere oggetto di calcoli di gittata come quelli che si possono effettuare sul corpo pala.

3. LEGGE DEL MOTO

Supponiamo di trovarci nel caso notevole di un proiettile non puntiforme. Le equazioni che governano il moto sono rispettivamente la prima e la seconda equazione della dinamica:

$$1) \mathbf{Mg} = \mathbf{Ma}_G$$

$$2) \mathbf{0} = \mathbf{I} \, d\boldsymbol{\omega}/dt$$

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa della pala, il momento della forza peso è nullo, avendo scelto G come polo per il calcolo dei momenti.

Pertanto la seconda equazione ci dice che il corpo durante la traiettoria che percorre, si mette a girare indisturbato intorno al suo asse principale di inerzia.

La soluzione al problema ci viene allora dalla risoluzione della prima equazione. Questa ci evidenzia che la pala si muoverà con il moto di un proiettile puntiforme, pertanto ne compirà il caratteristico moto parabolico.

Per studiare la gittata di un proiettile che si muove con moto parabolico (cioè sotto l'azione della sola forza peso e trascurando l'attrito con l'aria) si è utilizzato un sistema di riferimento cartesiano xy in cui l'origine O degli assi del sistema, coincida con il punto da cui il proiettile è stato lanciato.

Si è considerato il moto bidimensionale di un proiettile, come il moto di un punto materiale, 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.

Scegliamo un sistema di riferimento con l'asse delle y positivo verso l'alto, in modo che l'origine degli assi sia nel punto $(x_0, y_0) = (0,0)$ di partenza del proiettile; le componenti dell'accelerazione saranno $a_x = 0$, $a_y = -g$.

Dove $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Utilizzando la legge di caduta di un grave, ricaveremo la traiettoria di un proiettile, verificando che è una parabola e mostrandone poi alcune caratteristiche.

Il vettore velocità v nell'istante iniziale $t = 0$ ha modulo v_0 ed è inclinato di un certo angolo θ rispetto alla direzione positiva dell'asse delle x; le sue componenti sono:

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta$$

$$v_{0y} = v_0 \sin\theta$$

La legge della cinematica che esprime la velocità in funzione del tempo t è $(v(t) = v_0 + at)$.

Poiché non esistendo componenti orizzontali dell'accelerazione, la componente orizzontale della velocità v_x rimane costante, la componente verticale v_y cambia nel tempo perché esiste un'accelerazione costante diretta verso il basso ($a_y = -g$):

$$v_x = v_{0x}$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$

La legge del moto soluzione delle equazioni indicate in precedenza è:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t$$

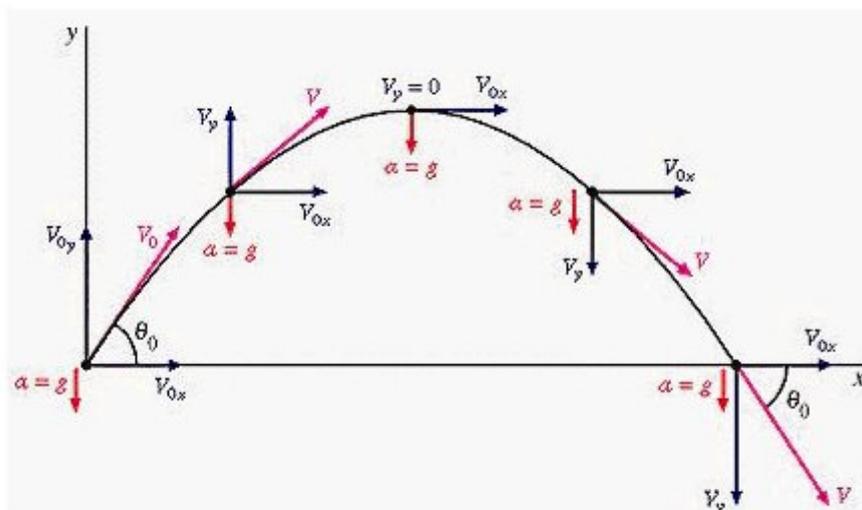
$$y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

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:

$$T = \frac{v_{0y}}{g} + \sqrt{\frac{v_{0y}^2}{g^2} + \frac{2y_0}{g}}$$

che come si vede è una parabola rivolta verso il basso passante per l'origine degli assi. Una rappresentazione del moto con disegnate le componenti della velocità è mostrato nella figura sottostante.



Dove è stata scarta la soluzione corrispondente a tempi negativi

La posizione e la velocità iniziale sono determinati dall'angolo α e dalla velocità tangenziale V della pala al momento del distacco. Essi sono legati alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$x_0 = -R \cos(\alpha)$$

$$y_0 = H + R \sin(\alpha)$$

$$v_x = V \sin(\alpha)$$

$$v_y = V \cos(\alpha)$$

La gittata G è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala. Dalla legge del moto otteniamo:

$$G = x(T)$$

Sostituendo l'espressione per T ricavata sopra, otteniamo la gittata G in termini di V e di α :

$$G_{max} = V_g \sin \alpha / g [V_g \cos \alpha + ((Radq V_g^2 \cos^2 \alpha + 2(H+R_g \sin \alpha) g)) - R_g \cos \alpha$$

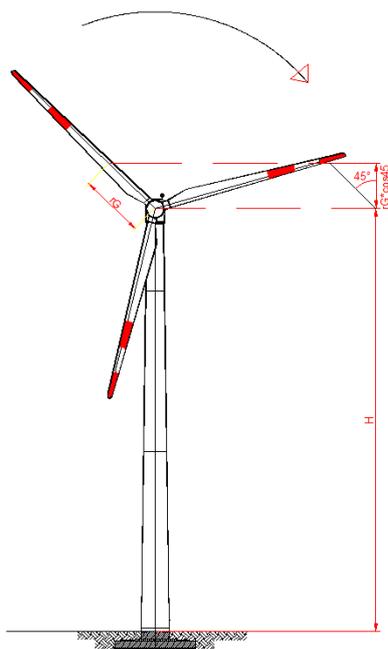
Si noti che, fissato un generico angolo α , la gittata aumenta quadraticamente con V, salvo i casi particolari $\alpha = \pm 90^\circ$; 0° ; 180° , nei quali la gittata aumenta linearmente con V oppure è pari ad R.

4. CALCOLO GITTATA DELLA PALA

Lo schema adottato per il calcolo è il seguente, avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

Rg = raggio del baricentro

Vg = velocità periferica del baricentro



Prima di effettuare il calcolo della gittata, calcoliamo dei parametri che ci serviranno per il proseguo dello stesso.

4.1. CALCOLO DEL BARICENTRO

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, cioè:

Tipo WTG	Baricentro r_g
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	28,67

4.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA

Il dato di partenza è rpm = 9,50 giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

Tipo WTG	$\omega = 2\pi n/60$
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	0,994

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2\pi R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi R n$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare. Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 9,50 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	28,50

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è **19,96 m/s**.

4.3. CALCOLO DI HG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza della pala, ossia $R_g = 28,67$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 86 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_g sulla verticale ossia:

$$hg = H + (R_g * \sin \alpha)$$

Dove H è l'altezza della torre e il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato per i diversi valori dell'angolo α .

4.4. CALCOLO DELLA GITTATA DELLA PALA

Il calcolo della gittata è stato eseguito considerando diversi valori dell'angolo α . Noto il valore di gittata massima, date le caratteristiche geometriche della pala, precedentemente valutate, si può calcolare il punto in cui cade il vertice della pala stessa. Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore **massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza della pala** come evidenziato nella tabella seguente:

Tipo WTG
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-28,7	28,667
5	-15,2	42,120
10	3,8	61,095
15	12,0	69,296
20	25,3	82,597
25	38,1	95,443

Angolo	Gmax	Vertice pala
30	50,3	107,653
35	61,7	119,068
40	72,2	129,553
45	81,7	138,999
50	90,0	147,325
55	97,1	154,477
60	103,1	160,427
65	107,8	165,174
70	111,4	168,739
75	113,8	171,165
80	115,2	172,509
85	115,5	172,843
90	114,9	172,247
95	113,5	170,809
100	111,3	168,617
105	108,4	165,760
110	105,0	162,325
115	101,1	158,391
120	96,7	154,035
125	92,0	149,325
130	87,0	144,319
135	81,7	139,071
140	76,3	133,625
145	70,7	128,019
150	64,9	122,283
155	59,1	116,441
160	53,2	110,510
165	47,2	104,506
170	41,1	98,435
175	35,0	92,304
180	28,8	86,114

Dalla tabella si evince che il valore massimo nelle condizioni più gravose si ottiene con un angolo di distacco pari a 85°, ovvero:

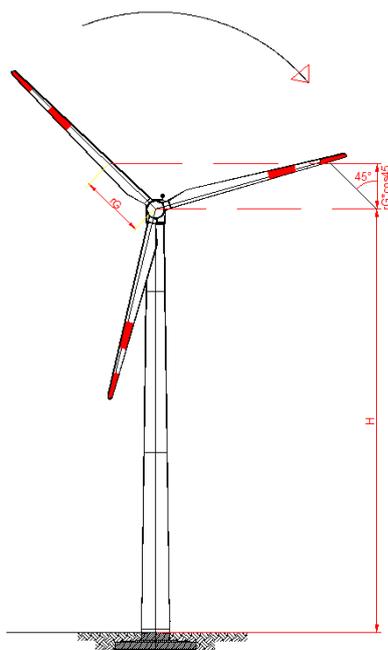
Tipo WTG	GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	172,843

5. CALCOLO GITTATA DEL FRAMMENTO DELLA PALA

Lo schema adottato per il calcolo della gittata nel caso di rottura del frammento di 5 m di una pala è simile a quello adottato per il distacco nel punto di attacco del mozzo, ovvero avendo indicato con G il baricentro del sistema avremo:

R_g = raggio del baricentro

V_g = velocità periferica del baricentro



Prima di effettuare il calcolo della gittata, calcoliamo dei parametri che ci serviranno per il proseguo dello stesso.

5.1. CALCOLO DEL BARICENTRO

Date le caratteristiche geometriche della pala, e considerata la distribuzione dei pesi lungo il profilo della stessa, possiamo ritenere con buona approssimazione che il baricentro sia posizionato secondo la seguente relazione:

$R_g = D/2 - (2/3 * 5)$ (lunghezza del frammento)

Tipo WTG	Baricentro R_g
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	82,67

5.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ PERIFERICA

Il dato di partenza è $R_{pm} = 9,50$ giri/min che corrisponde ad una velocità angolare:

Tipo WTG	$\omega = 2\pi n/60$
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	0,994

Nel moto circolare uniforme, la velocità periferica è direttamente proporzionale al raggio. Ad ogni giro il punto G di raggio R percorre la circonferenza $2\pi R$; dopo n giri al minuto lo spazio percorso sarà $2\pi R$ metri/minuto. E questo sarà lo spazio percorso da tutti i punti situati sulla periferia del corpo in movimento circolare. Dunque la velocità periferica in metri al secondo di un corpo rotante (considerando la velocità massima del rotore pari a 9.50 giri al minuto), corrisponde a:

Tipo WTG	$V_G = \omega R_G$ (m/s)
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	82,198

Tenendo conto dell'attrito dell'aria e delle forze di resistenza, il valore della velocità del baricentro risulta ridotta del 30% rispetto all'assenza di resistenze, per cui il valore reale è **57,54 m/s**.

5.3. CALCOLO DI HG

Il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, che si ritiene con buona approssimazione posizionato ad un terzo rispetto alla lunghezza del frammento di pala, ossia $R_G = 82,67$ m, essendo il raggio di ciascuna pala uguale a 86 m, viene valutato all'altezza dell'intera torre più il valore della proiezione di R_G sulla verticale ossia:

$$hg = H + (R_G * \sin \alpha)$$

Dove H è l'altezza della torre e il calcolo della proiezione del baricentro sull'asse verticale, viene valutato per i diversi valori dell'angolo α .

5.4. CALCOLO DELLA GITTATA DEL FRAMMENTO

Il calcolo della gittata è stato eseguito considerando diversi valori dell'angolo α . Noto il valore di gittata massima, date le caratteristiche geometriche della pala, precedentemente valutate, si può calcolare il punto in cui cade il vertice del frammento di pala stessa.

Supponendo di prendere in considerazione l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui il frammento la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro verso l'esterno, si ottiene il punto più lontano di caduta pari al valore **massimo di gittata + i 2/3 della lunghezza del frammento** come evidenziato nella tabella seguente:

Tipo WTG
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW

Angolo	Gmax	Vertice pala
0	-82,7	-79,33
5	-13,3	-9,97
10	92,0	95,33
15	123,4	126,68
20	187,4	190,76
25	246,7	250,08
30	300,1	303,43
35	346,5	349,82
40	385,2	388,54
45	415,8	419,15
50	438,2	441,51
55	452,4	455,75
60	458,9	462,28
65	458,4	461,74
70	451,6	454,98

Angolo	Gmax	Vertice pala
75	439,6	442,97
80	423,4	426,76
85	404,1	407,42
90	382,6	385,95
95	359,9	363,27
100	336,8	340,13
105	313,8	317,15
110	291,4	294,77
115	270,0	273,31
120	249,6	252,94
125	230,4	233,74
130	212,4	215,75
130	212,4	215,75
135	195,6	198,92
140	179,9	183,19
145	165,1	168,48
150	151,4	154,70
155	138,4	141,74
160	126,2	129,51
165	114,6	117,93
170	103,6	106,91
175	93,0	96,35
180	82,8	86,18

Dalla tabella si evince che il valore massimo nelle condizioni più gravose si ottiene con un angolo di distacco pari agli 65°, ovvero:

Tipo WTG	GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO
VESTAS V172 - HH 134m - 7,2 MW	462,28

6. CONCLUSIONI SULLA GITTATA MASSIMA

Sulla base delle operazioni di calcolo della gittata massima, sia della pala intera che del suo frammento pari a 5 m, è emerso che i valori massimi di gittata per l'aerogeneratore proposto sono:

GITTATA MAX PALA + TERMINALE PALA	172,843 m
GITTATA MAX FRAMMENTO + TERMINALE FRAMMENTO	462,28 m

assumendo il valore di maggior rischio pari a 1 nella direzione perpendicolare a quella del vento prevalente.

7. ANALISI E SCELTA DEI RICETTORI SENSIBILI PRESENTI NELL'AREA DI IMPIANTO

L'individuazione e la scelta dei fabbricati da considerare come ricettori nella verifica dell'impatto in caso di rottura accidentale della pala e/o frammenti di essa è stata effettuata attraverso le stesse considerazioni riportate nell'elaborato "TSV ENG REL 0122 - Relazione previsionale di impatto acustico".

Da tale studio si è evinto che parte dei fabbricati individuati sono risultati ruderi, altri adibiti a ricovero di mezzi ed attrezzi agricoli oppure depositi. Ciò perché l'area di impianto è sede di attività rurale, caratterizzata solo da saltuaria presenza della popolazione. Esistono fabbricati adibiti ad usi abitativo, la quasi totalità di essi sempre parte di complessi rustici in cui si opera attività di produzione agricola.

I criteri per la definizione delle caratteristiche che debbano avere i fabbricati per essere considerati ricettori e la distanza minima che si deve rispettare per essi sono riportati nelle linee guida nazionali per l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio di impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili (pubblicate nella G.U. del 18/09/2010).

Di seguito si riportano i ricettori, le loro coordinate e i loro identificativi catastali:

Ricettori (come identificati in TSV.ENG.REL.00122 Relazione previsionale di impatto acustico)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Sensibilità
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
1	Lucera (FG)	146	614	A04-D10	533068,80	4584383,82	SI
2	Lucera (FG)	146	625-624	A04 - A03 - C02	533385,71	4584459,06	SI
3	Lucera (FG)	145	341 - 342	D01-D10	533430,43	4584379,43	NO
4	Lucera (FG)	145	345-84-349-348-347-346	F02- COSTR NO AB	533430,83	4583474,45	NO
5	Lucera (FG)	145	298 - 114 - 115 - 317-337	F02	533674,12	4583277,53	NO
6	Lucera (FG)	145	267	NON CLASSATO CATASTALMENTE	533626,76	4583236,73	NO
7	Lucera (FG)	145	334	D10	534719,50	4582699,49	NO
8	Lucera (FG)	145	226	A07-C02	534759,18	4582697,45	SI
9	Lucera (FG)	145	335	A04-C06	534731,26	4582669,53	SI
10	Lucera (FG)	145	228	A07	534716,10	4582681,40	SI
11	Lucera (FG)	145	295	C02-F02	534464,19	4582647,15	NO
12	Lucera (FG)	145	251	A04	534438,29	4582605,21	SI
13	Lucera (FG)	145	265	C02	534395,17	4582594,28	NO
14	Lucera (FG)	145	247	C02	534256,93	4582574,48	NO
15	Lucera (FG)	145	256	A03	534166,37	4582547,23	SI
16	Lucera (FG)	145	257	C02	534168,60	4582526,48	NO
17	Lucera (FG)	145	268	C02	534132,78	4582544,59	NO
18	Lucera (FG)	145	249	C02	534066,72	4582583,06	NO
19	Troia (FG)	12	363	A04-D10	533407,39	4582814,41	NO
20	Troia (FG)	12	3	FABB DIRUTO	532680,61	4583168,21	NO
21	Troia (FG)	12	405	F02	532366,31	4583083,42	NO
22	Troia (FG)	12	403	D10	532297,50	4582982,65	NO
23	Troia (FG)	12	402	F02	532124,95	4582882,98	NO
24	Troia (FG)	12	396	A04-A03	533948,42	4582399,88	SI
25	Troia (FG)	12	218	A07-C02	533838,91	4582374,77	SI
26	Troia (FG)	12	300	A03-D01	533818,65	4582355,00	SI
27	Troia (FG)	12	383 - 387	C02	533650,35	4582309,49	NO
28	Troia (FG)	12	406	D10	533632,51	4582259,90	NO
29	Troia (FG)	12	404	A03-C06	533656,40	4582228,04	SI
30	Troia (FG)	12	381	C02	533604,44	4582215,69	NO

Ricettori (come identificati in TSV.ENG.REL.00122 Relazione previsionale di impatto acustico)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Sensibilità
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
31	Troia (FG)	12	380	A03	533599,80	4582194,08	SI
32	Troia (FG)	12	394	D10	533573,82	4582265,83	NO
33	Troia (FG)	12	307	A04-C02-C06	533328,28	4582172,82	SI
34	Troia (FG)	15	122	A03-C02	533389,24	4582100,52	SI
35	Troia (FG)	12	211- 304-305	C03 - C02 - C06	533167,88	4582257,31	NO
36	Troia (FG)	12	167	B08 - A03-C02	533158,27	4582222,57	SI
37	Troia (FG)	12	398	F02	532987,41	4582245,22	NO
38	Troia (FG)	16	1007	A07	533194,11	4581929,92	SI
39	Troia (FG)	16	1009	D10	533161,82	4581910,72	NO
40	Troia (FG)	16	763	A03-C02-C03-C06	532883,74	4581795,39	SI
41	Troia (FG)	16	489	A03 -C02	532845,73	4581778,34	SI
42	Troia (FG)	16	592	A07	532816,55	4581755,30	SI
43	Troia (FG)	16	661	A03-C02	532780,26	4581738,83	SI
44	Troia (FG)	16	910	F02	532577,94	4581632,78	NO
45	Troia (FG)	16	1021	C02	532543,39	4581637,85	NO
46	Troia (FG)	16	1000	A04-C02	532530,33	4581619,20	SI
47	Troia (FG)	16	998	A04-D10	532504,49	4581632,86	SI
48	Troia (FG)	16	699	A04	532478,88	4581610,33	SI
49	Troia (FG)	16	793	A03	532445,01	4581550,27	SI
50	Troia (FG)	15	176	A03-C02	532302,23	4581653,57	SI
51	Troia (FG)	15	193	C06-F03	532288,11	4581691,67	NO
52	Troia (FG)	15	180	A07-C06	532146,14	4581561,33	SI
53	Troia (FG)	16	1208	F02	532267,00	4581451,84	NO
54	Troia (FG)	16	617	D01	532163,16	4581435,30	NO
55	Troia (FG)	16	709	NON CLASSATA CATASTALMENTE	532134,94	4581428,49	SI
56	Troia (FG)	16	999	A04-C02-D08	532138,73	4581388,39	SI
57	Troia (FG)	16	915	C02	532048,13	4581334,36	NO
58	Troia (FG)	16	1038	C02	531915,51	4581274,36	NO
59	Troia (FG)	16	1003	C02	531842,95	4581225,81	NO
60	Troia (FG)	15	289	A03-C06	531661,85	4581375,53	SI
61	Troia (FG)	15	377	C02	531551,44	4581335,47	NO
62	Troia (FG)	16	833	A07	531596,30	4581200,72	SI
63	Troia (FG)	16	979	A04-C01	531418,84	4581092,91	SI
64	Troia (FG)	16	1052	C02-A03	531356,38	4581128,57	SI
65	Troia (FG)	16	773 -770	D01	531341,62	4581087,42	NO
66	Troia (FG)	16	626	A03	531309,84	4581069,62	SI
67	Troia (FG)	15	332	C02-A03-C06	531255,74	4581183,50	SI
68	Troia (FG)	15	292	D08	531115,88	4581186,55	SI
69	Troia (FG)	15	189	A07	530955,96	4581079,73	SI
70	Troia (FG)	15	108	NON CLASSATO CATASTALMENTE	530991,56	4581034,82	NO
71	Troia (FG)	16	916	C01-C02	530843,19	4580904,67	NO
72	Troia (FG)	16	1019	E03	530681,39	4580818,02	NO
73	Troia (FG)	15	300	A03-C02	530435,22	4580819,23	SI
74	Troia (FG)	15	299	D10	530427,96	4580838,98	NO
75	Troia (FG)	15	308 - 310	D10-C02-A04	530396,12	4580794,14	NO
76	Troia (FG)	14	1039	C02	530286,00	4580778,00	NO
77	Troia (FG)	14	805	A04	530252,82	4580754,06	SI
78	Troia (FG)	14	811-812-806	F03-C02	530218,83	4580758,78	SI
79	Troia (FG)	14	764	A04	530192,43	4580738,59	SI
80	Troia (FG)	14	285	A07	530169,14	4580728,29	SI

Ricettori (come identificati in TSV.ENG.REL.00122 Relazione previsionale di impatto acustico)	Comune	Foglio	Particella	Destinazione d'uso	UTM - WGS84		Sensibilità
					Long. E [m]	Lat. N [m]	
81	Troia (FG)	14	961	A02-C01-C06	530308,60	4580659,00	SI
82	Troia (FG)	14	948	A04	530127,20	4580692,49	SI
83	Troia (FG)	14	881-729	A03-C06-A07	530099,16	4580699,05	SI
84	Troia (FG)	11	161	A03-D10	530011,49	4582626,37	SI
85	Troia (FG)	11	162	A03-D10	530006,51	4582703,28	SI
86	Troia (FG)	11	163	A03-D10	530053,42	4582713,75	SI
87	Troia (FG)	15	329	F02	530509,34	4582615,91	NO
88	Troia (FG)	15	327	F02	530446,55	4582673,38	NO
89	Troia (FG)	11	189-190	F02	530470,98	4582860,23	NO

Di tali ricettori, si sono presi in considerazione quelli presenti nell'area di studio, individuati negli elaborati:

- TSV ENG TAV 0231 Planimetria catastale con verifica distanze dalle abitazioni;

ed evidenziati in grigio nella tabella precedente.

Per tali ricettori, nella tabella successiva, si riporta la distanza di ciascun ricettore dall'aerogeneratore più vicino ad esso.

Ricettori (come identificati in TSV.ENG.REL.00122 Relazione previsionale di impatto acustico)	Comune	Foglio	Particella	Aerogeneratore più vicino	Distanza Ricettore – Aerogeneratore [m]
1	Lucera (FG)	146	614	WTG R-TSV01	743
2	Lucera (FG)	146	625-624	WTG R-TSV01	935
8	Lucera (FG)	145	226	WTG R-TSV03	1062
9	Lucera (FG)	145	335	WTG R-TSV03	1042
10	Lucera (FG)	145	228	WTG R-TSV03	1024
12	Lucera (FG)	145	251	WTG R-TSV03	790
15	Lucera (FG)	145	256	WTG R-TSV03	597
24	Troia (FG)	12	396	WTG R-TSV03	594
25	Troia (FG)	12	218	WTG R-TSV03	588
26	Troia (FG)	12	300	WTG R-TSV03	604
29	Troia (FG)	12	404	WTG R-TSV03	727
31	Troia (FG)	12	380	WTG R-TSV03	769
33	Troia (FG)	12	307	WTG R-TSV06	663
34	Troia (FG)	15	122	WTG R-TSV06	755
36	Troia (FG)	12	167	WTG R-TSV06	499
38	Troia (FG)	16	1007	WTG R-TSV06	747
40	Troia (FG)	16	763	WTG R-TSV06	768
41	Troia (FG)	16	489	WTG R-TSV06	782
42	Troia (FG)	16	592	WTG R-TSV06	803
43	Troia (FG)	16	661	WTG R-TSV06	819
46	Troia (FG)	16	1000	WTG R-TSV06	974
47	Troia (FG)	16	998	WTG R-TSV06	968
48	Troia (FG)	16	699	WTG R-TSV06	997
49	Troia (FG)	16	793	WTG R-TSV06	1065
50	Troia (FG)	15	176	WTG R-TSV05	901
52	Troia (FG)	15	180	WTG R-TSV05	784
55	Troia (FG)	16	709	WTG R-TSV05	837
56	Troia (FG)	16	999	WTG R-TSV05	863
60	Troia (FG)	15	289	WTG R-TSV05	555
62	Troia (FG)	16	833	WTG R-TSV05	699

Ricettori (come identificati in TSV.ENG.REL.00122 Relazione previsionale di impatto acustico)	Comune	Foglio	Particella	Aerogeneratore più vicino	Distanza Ricettore – Aerogeneratore [m]
63	Troia (FG)	16	979	WTG R-TSV05	787
64	Troia (FG)	16	1052	WTG R-TSV05	755
66	Troia (FG)	16	626	WTG R-TSV05	819
67	Troia (FG)	15	332	WTG R-TSV05	718
68	Troia (FG)	15	292	WTG R-TSV10	663
69	Troia (FG)	15	189	WTG R-TSV10	580
73	Troia (FG)	15	300	WTG R-TSV10	630
77	Troia (FG)	14	805	WTG R-TSV10	736
78	Troia (FG)	14	811-812-806	WTG R-TSV10	744
79	Troia (FG)	14	764	WTG R-TSV10	772
80	Troia (FG)	14	285	WTG R-TSV10	792
81	Troia (FG)	14	961	WTG R-TSV10	810
82	Troia (FG)	14	948	WTG R-TSV10	842
83	Troia (FG)	14	881-729	WTG R-TSV10	849
84	Troia (FG)	11	161	WTG R-TSV08	903
85	Troia (FG)	11	162	WTG R-TSV08	926
86	Troia (FG)	11	163	WTG R-TSV08	884

8. VERIFICA DI IMPATTO DELLA GITTATA MASSIMA

Sulla base del valore massimo della gittata nelle condizioni peggiori di rischio, pari a 462,28 m, è stata condotta una verifica di compatibilità dell'impianto rispetto ai ricettori precedentemente individuati, ovvero rispetto ai ricettori 1, 2, 8, 9, 10, 12, 15, 24, 25, 26, 29, 31, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 56, 60, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86.

Nell'elaborato "TSV ENG TAV 0231 Planimetria catastale con verifica distanze dalle abitazioni" viene mostrata la verifica delle distanze tra gli aerogeneratori e i ricettori, da cui si evince l'assenza di criticità in relazione alla gittata. Nessun ricettore è posto ad una distanza inferiore a 462,28 m.

9. CONCLUSIONI

In conclusione, la verifica ha evidenziato l'assoluta compatibilità degli aerogeneratori col grado di antropizzazione dell'area. Si sottolinea, inoltre, che il valore assunto di 462,28 m è teorico ed altamente conservativo, poiché non tiene in conto le forze di attrito viscoso e la complessità del moto rotazionale, ovvero la rotazione della pala durante il moto di caduta, condizioni reali che attenuano i valori della gittata massima.

