



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di FOGGIA



Progetto Uno

Progetto Uno s.r.l. via Napoli, 116 - cap. 95127 Catania (CT)
amm.: Oliver Lutz - cod. fisc. 0585151074 Tel.:3386386396

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto per la realizzazione di un impianto eolico denominato "Wind 1" della potenza nominale di 54,4 MW nel Comune di Foggia loc. Cantone

Decreto Legislativo 29 dicembre 2003 n° 387- Attuazione della direttiva 2001/77/CE
Promozione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili nel mercato interno dell'elettricit 

ELABORATO

Relazione Gittata Massima

FORMATO

SCALA

CODICE DOCUMENTO

NOME FILE

A4

/

SOC.

DISC.

TIPO DOC.

PROG.

REV.

PRO

PROG

REL

011

PRO-PROG-REL-011

Coordinamento
e Progettazione



Studio Tecnico Associato
ing. Giovanni Bruno - arch. G.Farinola
Viale Europa, 62/a Foggia (FG)
Tel. 0881373998 - 3356013949
E-mail: ingbruno@fiscali.it

Studio Archeologico



Dott. Antonio Mesisca
Via Aldo Moro B/5 82021 Apice (BN)
Tel. 3271616306
E-mail: mesisca.antonio@virgilio.it

Studio Geologico e
consulenza ambientale

Geol. Francesco Ferrante
Studio di Geologia Tecnica e Ambientale
Via Attilio Benvenuto, 76 - Foggia (FG)
Tel. 0881742216 - 3385654577
E-mail: ferrantegeo@gmail.com

Studio Agronomico

Dott. Antonio Totaro
Viale L. Da Vinci, 1 Manfredonia (FG)
Tel. 3486403829
E-mail: atotaro033@gmail.com

Studio Paesaggistico

Arch. Giuseppe Farinola
Viale Europa, 62/a Foggia (FG)
Tel. 0881373998 - 3387535391
E-mail: agfarinola@virgilio.it

Studio Elettrico



Sciacca & Partners S.r.l.
C.so Vittorio Emanuele III, 51
96015 Francofonte (SR)
CF e P.IVA: 01871700892
E-mail: noi@sciaccapartners.it

Rilievo Topografico



Studio Tecnico
Dott. Agr. Rocco Iacullo
Via Padre Antonio da Olivadi, 89 - Foggia
Tel. 0881665592 - 3930051965
E-mail: studioiacullo@gmail.com

Studio Acustico

Ing. Michele Russo
Via Mascagni, 1 - Margherita di Savoia (BT)
Tel. 3495343724
E-mail: russomicheleing@gmail.com

Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

Progetto Uno	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRO-PROG-REL-011
	Relazione Gittata Massima	Data: 27/01/2023
Revisione: 00		
Pagina: 2		

1	Premessa	2
2	Cenni sui principi di funzionamento di un aerogeneratore	2
3	Rottura della Pala	3
3.1	Aerogeneratore modello VESTAS V172	3
3.2	Definizioni	4
3.3	Formule e calcoli risultanti.....	5
4	Calcolo della traiettoria reale di un frammento di pala.....	4
4.1	Fondamenti di calcolo della traiettoria reale	5
4.2	Applicazione del calcolo della traiettoria reale alla turbina VESTAS V172	6
5	Considerazioni Finali.....	8

Progetto Uno	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRO-PROG-REL-011
	Relazione Gittata Massima	Data: 27/01/2023
Revisione: 00		
Pagina: 3		

1 Premessa

La presente relazione si riferisce al calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'aerogeneratore e/o frammento di esso, relativo alla proposta progettuale per la realizzazione di un parco eolico proposto dalla società PROGETTO UNO s.r.l..

La proposta progettuale è finalizzata alla realizzazione di un impianto eolico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da n. 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,8 MW per una potenza complessiva di 54,4 MW, da realizzarsi nella Provincia di Foggia, nel territorio comunale di Foggia, in cui ricadono gli aerogeneratori e parte dell'elettrodotto esterno, mentre nel territorio comunale di Lucera ricade la restante parte dell'elettrodotto esterno e le opere di connessione alla RTN.

La relazione ha lo scopo di verificare e calcolare la gittata massima in caso di rottura della pala e/o di un frammento di pala di un aerogeneratore.

2 Cenni sui principi di funzionamento di un aerogeneratore

Nel dettaglio, le pale sono fissate su un mozzo, e nell'insieme costituiscono il rotore; il mozzo, a sua volta, è collegato ad un primo albero di trasmissione, detto albero lento, che ruota alla stessa velocità angolare del rotore.

L'albero lento è, nella maggior parte dei casi, collegato ad un moltiplicatore di giri, da cui si diparte un albero veloce, che ruota con velocità angolare data da quella dell'albero lento per il rapporto di trasmissione del rotismo installato. 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.

Oltre ai componenti su elencati, vi è un sistema di controllo che esegue, il controllo della potenza ruotando le pale intorno al loro asse principale, il controllo dell'orientamento della navicella, detto controllo dell'imbardata, che serve ad allineare la macchina rispetto alla direzione del vento. Si riporta di seguito una figura che evidenzia il verso di rotazione dell'aerogeneratore, in relazione alla direzione del vento che causa tale moto. 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. Questa considerazione ci serve 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. Dalla composizione delle due traiettorie si ottiene la traiettoria complessiva e quindi si capisce la direzione lungo la quale l'eventuale pala o parte di essa che si distacca percorre il suo moto. Mettendo in relazione la traiettoria del corpo che si distacca con la corografia del luogo si capisce se la pala nella percorrenza della sua traiettoria può

essere o meno un elemento di pericolo per la strada e/o altro edificio interessato.



Figura 1: Relazione tra la direzione del vento ed il verso di rotazione del rotore

3 Rottura della Pala

3.1 Aerogeneratore modello VESTAS V172

Il calcolo della gittata massima in caso di rottura di una pala dell'Aerogeneratore segue il principio della balistica applicata moto dei proiettili. Si evidenzia che i calcoli sono fatti considerando nullo l'attrito con l'aria.

Nel caso in esame (tipologia VESTAS V172) si suppone che l'eventuale rottura della pala avvenga alle peggiori condizioni possibili ovvero:

- 1) alla velocità massima del rotore, pari a circa 12,1 giri/minuto
- 2) nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata è massima, con angolo = $-\pi/4$
- 3) con il centro di massa posizionato ad $1/3$ della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo.

L'aerogeneratore di tipo VESTAS V172 previsto ha altezza al mozzo uguale a 114 mt, le pale costituenti il rotore sono lunghe 86 mt.

3.2 Definizioni

H_m = Altezza al mozzo dell'aerogeneratore = 114 mt

L_P = Lunghezza della pala dell'aerogeneratore = 86 mt

D_{cm} = Distanza dal mozzo del Centro di Massa della Pala = $L_P / 3 = 28.66$ mt

V_{ang} = Max Velocità Angolare Rotore = 12,1 Giri/Minuto = $12,1 \cdot 2 \pi / 60 = 1.27$ Rad/sec

Progetto Uno	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRO-PROG-REL-011
	Relazione Gittata Massima	Data: 27/01/2023
Revisione: 00		
Pagina: 5		

3.3 Formule e calcoli risultanti

L'Ordinata di Massima Velocità O_{mv} al momento di rottura è data dalla somma dell'altezza del mozzo più la componente verticale del Centro di Massa:

$$\text{➤ } O_{mv} = \text{Ordinata di Massima Velocità} = H_m + D_{cm} * \frac{\sqrt{2}}{2} = \mathbf{155,26 \text{ m}}$$

Analogamente l'ascissa di Massima Velocità A_{mv} al momento di rottura:

$$\text{➤ } A_{mv} = \text{Ascissa di Massima Velocità} = - D_{cm} * \frac{\sqrt{2}}{2} = \mathbf{- 20,26 \text{ m}}$$

La Velocità Lineare al Centro di Massa V_{max} è desunta dalla Velocità Angolare V_{ang}

$$\text{➤ } V_{max} = \text{Velocità Lineare al Centro di Massa} = V_{ang} * D_{cm} = \mathbf{36.40 \text{ m/sec}}$$

Le componenti Verticale V_y ed Orizzontale V_x di tale velocità Lineare al Centro di Massa si ottengono moltiplicando per il Seno ed il Coseno dell'angolo:

$$\text{➤ } V_y = \text{Componente Verticale Velocità} = V_{max} * \frac{\sqrt{2}}{2} = \mathbf{25.73 \text{ m/sec}}$$

$$\text{➤ } V_x = \text{Componente Orizzontale Velocità} = V_{max} * \frac{\sqrt{2}}{2} = \mathbf{25.73 \text{ m/sec}}$$

Il tempo necessario T_y perché la componente verticale della velocità sia nullo è dato dalla formula:

$$\text{- } T_y = \text{Tempo di decelerazione Verticale} = V_y / 9.8 \text{ m/sec}^2 = \mathbf{2,62 \text{ sec}}$$

L'altezza Massima H_{max} si ottiene dalla formula:

$$\text{- } H_{max} = O_{mv} + V_y * T_y - 1/2 * g * T_y^2 = \mathbf{189.03 \text{ m}}$$

Il tempo necessario T_{max} affinché l'elemento rotante precipiti a terra dalla sommità si ottiene dalla relazione:

$$\text{➤ } T_{max} = \text{tempo di caduta} = \sqrt{\frac{189,03 \text{ m}}{9.8 \text{ m/sec}^2}} = \mathbf{4.4 \text{ sec}}$$

La distanza massima DL_{max} dalla base della torre percorsa dall'elemento rotante distaccatosi è quindi fornito dalla formula:

$$DL_{max} = V_x * (T_{max} + T_y) + A_{mv} + (L_p - D_{cm}) = \mathbf{217.70 \text{ m}}$$

4 Calcolo della traiettoria reale di un frammento di pala

4.1 Fondamenti di calcolo della traiettoria reale

La determinazione di una traiettoria reale che tenga conto della resistenza dell'aria, è fattibile con un calcolo interattivo che consideri la traiettoria come una successione di elementi minimi, per ciascuno dei quali sia possibile ricalcolare la distanza, l'altezza, l'inclinazione e la velocità finali. Il calcolo risulta facilitato se la sequenza dei punti è determinata da incrementi di tempo costanti t_e . Passando dal punto **P** a quello successive, gli elementi della traiettoria possono allora essere così ricalcolati:

Tempo totale

$$t_{p+1} = t_p + t_e$$

Ascissa o distanza in piano

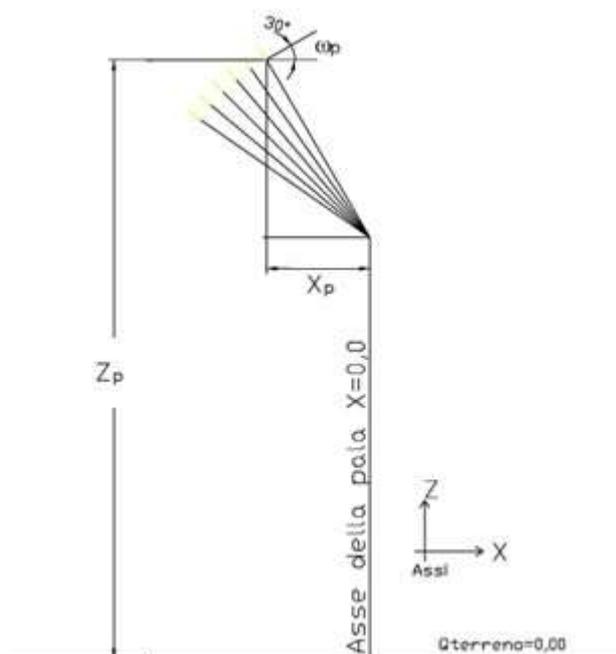
$$X_{p+1} = X_p + \cos\omega_p \times V_p \times t_e$$

Altezza o quota

$$Z_{p+1} = Z_p + \sin\omega_p \times V_p \times t_e - g \times t_e^2 / 2$$

Si precisa che:

1. si assume come origine degli assi la base della torre della turbina ed un sistema di riferimento come illustrato nella figura seguente;
2. X_p e Z_p sono le coordinate di partenza del centro di massa del frammento di pala e variano al variare dell'angolo di partenza;
3. X_p e Z_p sono state ricavare graficamente così come indicato nella seguente immagine:



Progetto Uno	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRO-PROG-REL-011
	Relazione Gittata Massima	Data: 27/01/2023
Revisione: 00		
Pagina: 7		

Inclinazione

$$\omega_{p+1} = \arctan [\tan\omega_p - g \times (X_{p+1} - X_p) / (\cos^2 \omega_p \times V_p^2)]$$

Velocità

$$V_{p+1} = [(V_p^2 - 2g \times (Z_{p+1} - Z_p)) - \sigma_p \times t^e]^{1/2}$$

dove σ la decelerazione (o **ritardazione** come si dice in balistica) causata dalla resistenza dell'aria.

Per valutare la **resistenza R** opposta dall'aria, la formula usata nella meccanica dei fluidi è in genere la seguente:

$$R = 1/2 \times C_r \times \rho \times S \times V^2$$

dove:

R = resistenza (N)

S = sezione del corpo rispetto al movimento (m^2)

V = velocità (m/s)

C_r = coefficiente di forma (adimensionale)

ρ = densità del fluido attraversato (kg/m^3)

E' da notare che il **coefficiente di forma C_r** varia esso stesso in funzione della velocità, ma può essere considerato costante per variazioni di velocità che non comportano significativi cambiamenti nei regimi di turbolenza del fluido attraversato. Oggi sono disponibili numerosi modelli di simulazione che consentono di calcolare con approssimazione il valore di **C_r**.

Essendo **R** e σ ovviamente correlati dalla massa m_f (kg) del frammento secondo la relazione

$R = m_f \times \sigma$, per un regime uniforme di velocità, la ritardazione (m/s^2) è così esprimibile:

$$\sigma = (1/2 \times C_r \times \rho \times S \times V^2) / m_f$$

ciò significa che a parità di altre condizioni la ritardazione diminuisce con l'aumentare della massa del frammento e aumenta con l'aumentare della sua sezione.

4.2 Applicazione del calcolo della traiettoria reale alla turbina VESTAS V172

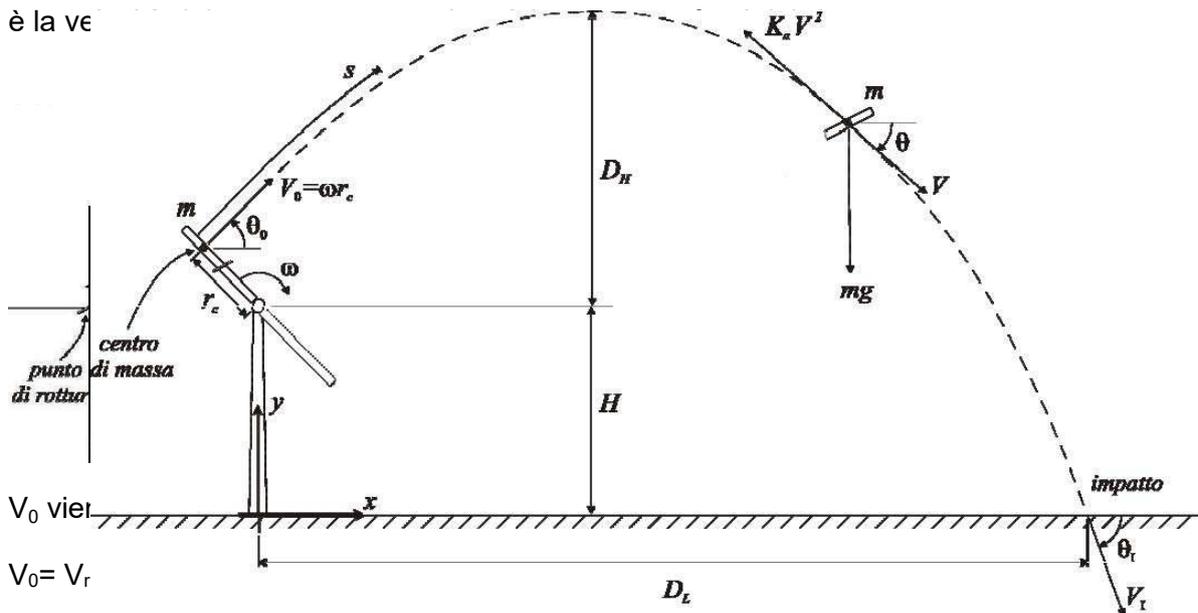
Il calcolo della gittata del frammento di pala è stato condotto considerando i seguenti dati di partenza:

$S = 4,0 \text{ m}^2$ (sezione del corpo rispetto al movimento)

$V_0 = 72,69 \text{ m/s}$

Nel Calcolo si considerano le seguenti condizioni:

1. Dai valori anemometrici di zona si evince che le velocità del vento sul sito variano prevalentemente da 0 a 10 m/s, quindi la probabile rottura del frammento avverrà in questo range di velocità;
2. Inoltre l'azione dinamica del vento, ortogonale al piano che contiene la parabola, riduce ulteriormente lo sviluppo della traiettoria reale rispetto a quella teorica quindi tanto maggiore è la ve



Dove

V_r è la velocità di rotazione

R_r è il raggio del frammento di pala (dall'asse navicella al centro di massa del frammento)

$V_0 = 98.41 \text{ m/s}$

$C_r = 1,5$ (coefficiente di forma (adimensionale))

$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (densità del fluido attraversato)

$m_f = 150 \text{ kg}$ (massa del frammento)

Figura 2 Vista frontale dell'aerogeneratore e della traiettoria di un frammento di pala espulso

Di seguito sono riportati i grafici delle traiettorie calcolati al variare dell'angolo di lancio con il metodo complesso:

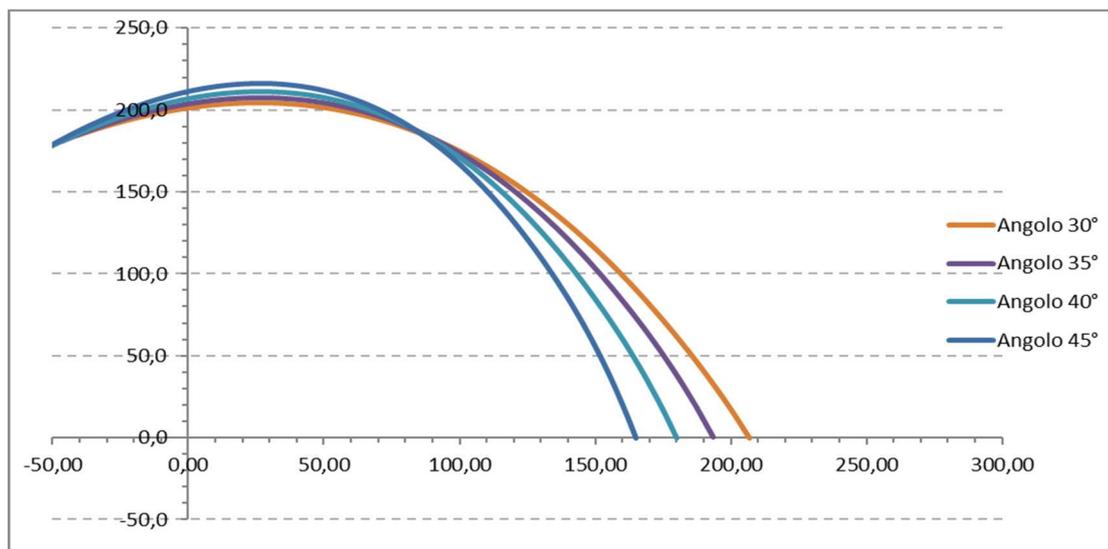


Figura 3 - Grafico della traiettoria di un frammento di pala

5 Considerazioni finali

Ponendoci nella condizione peggiore che un frammento o l'intera pala si staccasse dal mozzo, si è dimostrato che l'impatto della stessa avviene a distanze molto contenute.

Infatti nel caso si staccasse l'intera pala il suo valore massimo di gittata è di circa **280 mt** alla velocità massima di rotazione, nella direzione prevalente di vento e trascurando l'attrito dell'aria.

Nel caso di rottura di un frammento di pala, per il quale vigono solo calcoli di tipo probabilistico, si ha un valore di gittata sicuramente inferiore ai 280 mt, desulti dai tabulate di calcolo allegati.

Tale valore risultante dai calcoli è perfettamente in linea con quanto dichiarato nel gennaio 2012 da degli esperti dei Dipartimenti di Protezione ambientale e Sanità Pubblica del Massachusetts che hanno affermato "nella maggior parte dei casi la gittata è limitata ad un raggio non superiore all'altezza della pala".

Si tenga presente che tale valore nella realtà risulta inferiore; difatti è giusto considerare agire simultaneamente le condizioni peggiori di velocità del vento, di angolo di lancio, velocità di rotazione, azione di portanza sul profilo alare dopo il distacco ma le cause che porterebbero ad un eventuale distacco della pala o parte di essa sono rappresentate da un colpo di fulmine o da un urto accidentale

	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRO-PROG-REL-011
	Relazione Gittata Massima	Data: 27/01/2023
Revisione: 00		
Pagina: 10		

di notevole intensità agente alla base della torre.

L'accadimento di tali fenomeni ha un valore di rischio molto basso, resi ancora più bassi dal fattore di contemporaneità. Si tenga conto che tutte le turbine eoliche sono dotate di un complesso sistema parafulmine, e per quanto riguarda l'urto non è pensabile potersi tutelare da un incidente, quale un velivolo o altro, che impatta sul rotore di una turbina o alla base della torre.

Riportando quanto scritto dalla BP POWER nel "Blade throw calculation under normal operating" "esperienze basate su dati reali (su una casistica di 1578 casi) fino all'agosto del 2006 hanno dimostrato che nel caso di distacco della pala o parti di essa l'unico moto che si è registrato è stato un moto di completa rotazione e che le distanze percorse lungo il moto sono risultate sempre inferiori alle lunghezze riportate nella relazione. Il distacco delle parti, in genere piccole, dovuto a guasti causati da eventi eccezionali (quali la straordinaria energia prodotta da un fulmine) ha portato nel peggiore dei casi, a ritrovare le parti stesse a distanze non superiori ai 40-50 metri dalla base della torre."

Si riportano, in allegato, i tabulati di calcolo per angolo di partenza con percorrenza massima dell'intera pala.

CALCOLO GITTATA MASSIMA

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

Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 0° e 90°

$$G = \frac{v_{x0}(v_{v0} + \sqrt{v_{v0}^2 + 2 * g * HG})}{g} - X_g$$

dove :

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

$$H_G = H_{torre} + Y_g$$

$$Y_g = r_g \sin \alpha$$

r_g = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo

$$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$$

$X_g = r_g \cos \alpha$ posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre

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

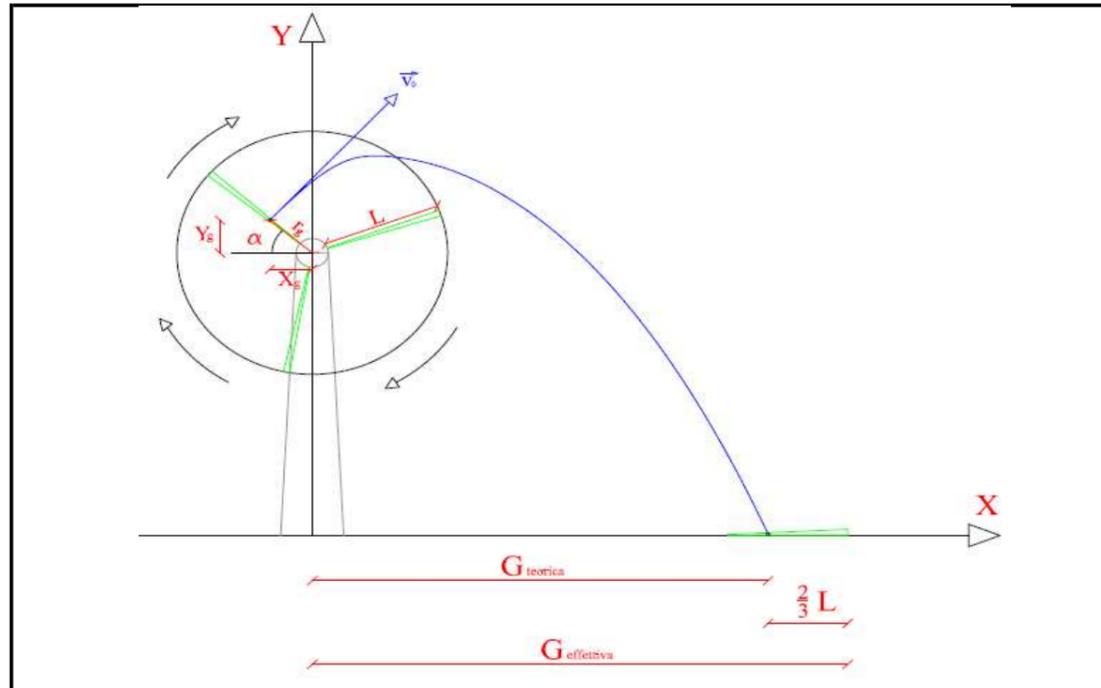
$$v_{y0} = v_0 \sin (90 - \alpha) = v_0 \cos \alpha$$

$$v_0 = \omega r_g = (2\pi n r_g) / 60 \quad n = \text{numero di giri al minuto del rotore}$$

Gittata Effettiva

$$G_{eff} = G + L_g$$

Schema della Gittata per angolo compreso tra 0° e 90°



Schema della Gittata per angolo compreso tra 270° e 360°

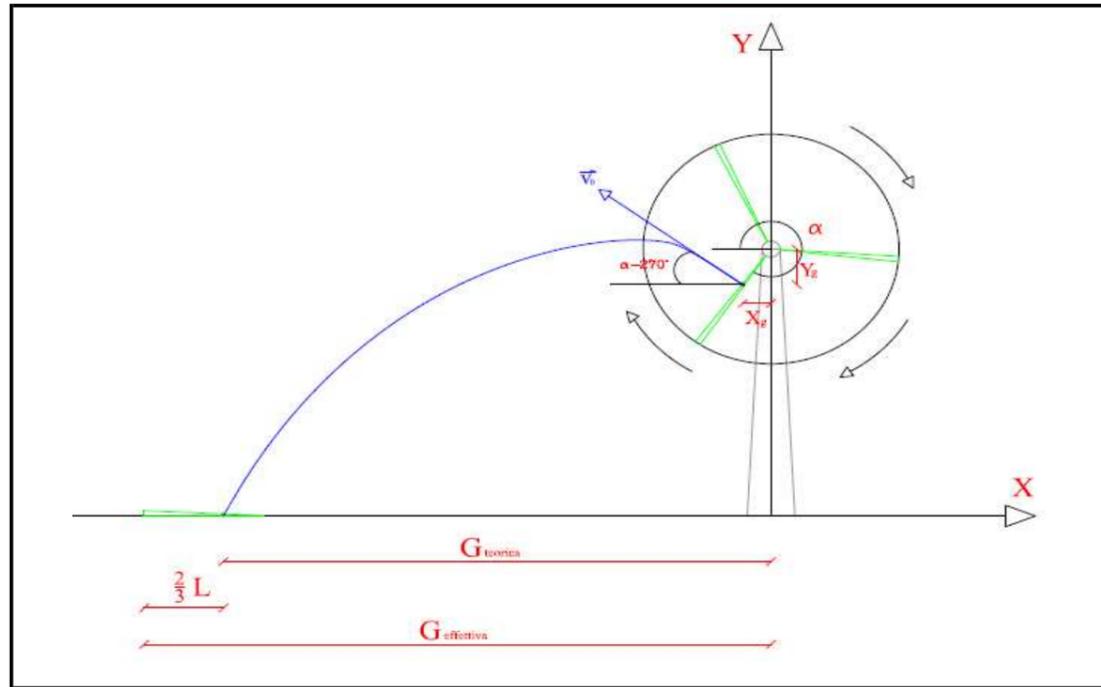
da inserire

Numero di giri al minuto del rotore	n =	12,1
Lunghezza della pala in metri	L =	86
Altezza del mozzo in metri	H _{torre} =	114

Se non è disponibile il valore di D, inserire almeno D=2L

Diametro del rotore D= 172

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
0	12,10	86,00	114,00	36,32	0,00	36,32	114,00	172	28,67	9,81	-28,67	28,67	57,33	28,67
1	12,10	86,00	114,00	36,32	0,63	36,32	114,50	172	28,67	9,81	-22,46	28,66	57,33	34,88
2	12,10	86,00	114,00	36,32	1,27	36,30	115,00	172	28,67	9,81	-16,23	28,65	57,33	41,10
3	12,10	86,00	114,00	36,32	1,90	36,27	115,50	172	28,67	9,81	-10,00	28,63	57,33	47,33
4	12,10	86,00	114,00	36,32	2,53	36,24	116,00	172	28,67	9,81	-3,76	28,60	57,33	53,57
5	12,10	86,00	114,00	36,32	3,17	36,19	116,50	172	28,67	9,81	2,47	28,56	57,33	59,80
6	12,10	86,00	114,00	36,32	3,80	36,12	117,00	172	28,67	9,81	8,70	28,51	57,33	66,03
7	12,10	86,00	114,00	36,32	4,43	36,05	117,49	172	28,67	9,81	14,91	28,45	57,33	72,24
8	12,10	86,00	114,00	36,32	5,06	35,97	117,99	172	28,67	9,81	21,11	28,39	57,33	78,44
9	12,10	86,00	114,00	36,32	5,68	35,88	118,48	172	28,67	9,81	27,28	28,31	57,33	84,61
10	12,10	86,00	114,00	36,32	6,31	35,77	118,98	172	28,67	9,81	33,42	28,23	57,33	90,76
11	12,10	86,00	114,00	36,32	6,93	35,66	119,47	172	28,67	9,81	39,53	28,14	57,33	96,87
12	12,10	86,00	114,00	36,32	7,55	35,53	119,96	172	28,67	9,81	45,61	28,04	57,33	102,94
13	12,10	86,00	114,00	36,32	8,17	35,39	120,45	172	28,67	9,81	51,63	27,93	57,33	108,97
14	12,10	86,00	114,00	36,32	8,79	35,24	120,94	172	28,67	9,81	57,61	27,82	57,33	114,95
15	12,10	86,00	114,00	36,32	9,40	35,09	121,42	172	28,67	9,81	63,54	27,69	57,33	120,87
16	12,10	86,00	114,00	36,32	10,01	34,92	121,90	172	28,67	9,81	69,41	27,56	57,33	126,74
17	12,10	86,00	114,00	36,32	10,62	34,74	122,38	172	28,67	9,81	75,22	27,41	57,33	132,55
18	12,10	86,00	114,00	36,32	11,22	34,55	122,86	172	28,67	9,81	80,95	27,26	57,33	138,29
19	12,10	86,00	114,00	36,32	11,83	34,34	123,33	172	28,67	9,81	86,62	27,10	57,33	143,95
20	12,10	86,00	114,00	36,32	12,42	34,13	123,80	172	28,67	9,81	92,21	26,94	57,33	149,54
21	12,10	86,00	114,00	36,32	13,02	33,91	124,27	172	28,67	9,81	97,72	26,76	57,33	155,05
22	12,10	86,00	114,00	36,32	13,61	33,68	124,74	172	28,67	9,81	103,15	26,58	57,33	160,48
23	12,10	86,00	114,00	36,32	14,19	33,44	125,20	172	28,67	9,81	108,48	26,39	57,33	165,82
24	12,10	86,00	114,00	36,32	14,77	33,18	125,66	172	28,67	9,81	113,73	26,19	57,33	171,06
25	12,10	86,00	114,00	36,32	15,35	32,92	126,12	172	28,67	9,81	118,88	25,98	57,33	176,21
26	12,10	86,00	114,00	36,32	15,92	32,65	126,57	172	28,67	9,81	123,93	25,77	57,33	181,26
27	12,10	86,00	114,00	36,32	16,49	32,36	127,01	172	28,67	9,81	128,87	25,54	57,33	186,21
28	12,10	86,00	114,00	36,32	17,05	32,07	127,46	172	28,67	9,81	133,71	25,31	57,33	191,04
29	12,10	86,00	114,00	36,32	17,61	31,77	127,90	172	28,67	9,81	138,44	25,07	57,33	195,77
30	12,10	86,00	114,00	36,32	18,16	31,46	128,33	172	28,67	9,81	143,06	24,83	57,33	200,39
31	12,10	86,00	114,00	36,32	18,71	31,14	128,76	172	28,67	9,81	147,56	24,57	57,33	204,89
32	12,10	86,00	114,00	36,32	19,25	30,80	129,19	172	28,67	9,81	151,94	24,31	57,33	209,28
33	12,10	86,00	114,00	36,32	19,78	30,46	129,61	172	28,67	9,81	156,20	24,04	57,33	213,54
34	12,10	86,00	114,00	36,32	20,31	30,11	130,03	172	28,67	9,81	160,34	23,77	57,33	217,68
35	12,10	86,00	114,00	36,32	20,83	29,75	130,44	172	28,67	9,81	164,36	23,48	57,33	221,69
36	12,10	86,00	114,00	36,32	21,35	29,39	130,85	172	28,67	9,81	168,25	23,19	57,33	225,58
37	12,10	86,00	114,00	36,32	21,86	29,01	131,25	172	28,67	9,81	172,00	22,89	57,33	229,34
38	12,10	86,00	114,00	36,32	22,36	28,62	131,65	172	28,67	9,81	175,63	22,59	57,33	232,96
39	12,10	86,00	114,00	36,32	22,86	28,23	132,04	172	28,67	9,81	179,12	22,28	57,33	236,46
40	12,10	86,00	114,00	36,32	23,35	27,83	132,43	172	28,67	9,81	182,48	21,96	57,33	239,82
41	12,10	86,00	114,00	36,32	23,83	27,41	132,81	172	28,67	9,81	185,71	21,64	57,33	243,04
42	12,10	86,00	114,00	36,32	24,31	26,99	133,18	172	28,67	9,81	188,80	21,30	57,33	246,13
43	12,10	86,00	114,00	36,32	24,77	26,57	133,55	172	28,67	9,81	191,75	20,97	57,33	249,09
44	12,10	86,00	114,00	36,32	25,23	26,13	133,91	172	28,67	9,81	194,57	20,62	57,33	251,90
45	12,10	86,00	114,00	36,32	25,68	25,68	134,27	172	28,67	9,81	197,25	20,27	57,33	254,58
46	12,10	86,00	114,00	36,32	26,13	25,23	134,62	172	28,67	9,81	199,79	19,91	57,33	257,12
47	12,10	86,00	114,00	36,32	26,57	24,77	134,97	172	28,67	9,81	202,19	19,55	57,33	259,53



Formula della Gittata Massima per angolo compreso tra 270° e 260°

$$G = \frac{v_{x0}(v_{v0} + \sqrt{v_{v0}^2 + 2 * g * HG})}{g} + X_g$$

Siccome abbiamo posto l'angolo 0° tra il 3° e 4° quadrante invertiamo il segno di v_{x0} e X_g

$$H_G = H_{torre} - Y_g$$

$$Y_g = r_g \sin(360 - \alpha) = -r_g \sin \alpha$$

r_g = posizione del baricentro pari ad 1/3 della lunghezza della pala più raggio mozzo

$$r_g = \frac{D}{2} - L + \frac{L}{3}$$

$$X_g = r_g \cos(360 - \alpha) = r_g \cos \alpha = -r_g \cos \alpha$$

posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre

$$v_{x0} = v_0 \cos(\alpha - 270) = -v_0 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha$$

$$v_{y0} = v_0 \sin(\alpha - 270) = v_0 \cos \alpha$$

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

n = numero di giri al minuto del rotore

v_{x0} negativo perché verso sinistra

Gittata Effettiva

$$G_{eff} = G - L_g$$

G negativo perché verso sinistra

48	12,10	86,00	114,00	36,32	26,99	24,31	135,30	172	28,67	9,81	204,46	19,18	57,33	261,79
49	12,10	86,00	114,00	36,32	27,41	23,83	135,64	172	28,67	9,81	206,58	18,81	57,33	263,92
50	12,10	86,00	114,00	36,32	27,83	23,35	135,96	172	28,67	9,81	208,57	18,43	57,33	265,91
51	12,10	86,00	114,00	36,32	28,23	22,86	136,28	172	28,67	9,81	210,42	18,04	57,33	267,76
52	12,10	86,00	114,00	36,32	28,62	22,36	136,59	172	28,67	9,81	212,14	17,65	57,33	269,47
53	12,10	86,00	114,00	36,32	29,01	21,86	136,89	172	28,67	9,81	213,72	17,25	57,33	271,05
54	12,10	86,00	114,00	36,32	29,39	21,35	137,19	172	28,67	9,81	215,17	16,85	57,33	272,50
55	12,10	86,00	114,00	36,32	29,75	20,83	137,48	172	28,67	9,81	216,48	16,44	57,33	273,81
56	12,10	86,00	114,00	36,32	30,11	20,31	137,77	172	28,67	9,81	217,66	16,03	57,33	275,00
57	12,10	86,00	114,00	36,32	30,46	19,78	138,04	172	28,67	9,81	218,71	15,61	57,33	276,05
58	12,10	86,00	114,00	36,32	30,80	19,25	138,31	172	28,67	9,81	219,64	15,19	57,33	276,97
59	12,10	86,00	114,00	36,32	31,14	18,71	138,57	172	28,67	9,81	220,43	14,76	57,33	277,77
60	12,10	86,00	114,00	36,32	31,46	18,16	138,83	172	28,67	9,81	221,10	14,33	57,33	278,44
61	12,10	86,00	114,00	36,32	31,77	17,61	139,07	172	28,67	9,81	221,65	13,90	57,33	278,99
62	12,10	86,00	114,00	36,32	32,07	17,05	139,31	172	28,67	9,81	222,08	13,46	57,33	279,41
63	12,10	86,00	114,00	36,32	32,36	16,49	139,54	172	28,67	9,81	222,39	13,01	57,33	279,72
64	12,10	86,00	114,00	36,32	32,65	15,92	139,77	172	28,67	9,81	222,58	12,57	57,33	279,91
65	12,10	86,00	114,00	36,32	32,92	15,35	139,98	172	28,67	9,81	222,66	12,12	57,33	279,99
66	12,10	86,00	114,00	36,32	33,18	14,77	140,19	172	28,67	9,81	222,62	11,66	57,33	279,96
67	12,10	86,00	114,00	36,32	33,44	14,19	140,39	172	28,67	9,81	222,48	11,20	57,33	279,81
68	12,10	86,00	114,00	36,32	33,68	13,61	140,58	172	28,67	9,81	222,23	10,74	57,33	279,56
69	12,10	86,00	114,00	36,32	33,91	13,02	140,76	172	28,67	9,81	221,88	10,27	57,33	279,21
70	12,10	86,00	114,00	36,32	34,13	12,42	140,94	172	28,67	9,81	221,43	9,80	57,33	278,76
71	12,10	86,00	114,00	36,32	34,34	11,83	141,10	172	28,67	9,81	220,87	9,33	57,33	278,21
72	12,10	86,00	114,00	36,32	34,55	11,22	141,26	172	28,67	9,81	220,23	8,86	57,33	277,56
73	12,10	86,00	114,00	36,32	34,74	10,62	141,41	172	28,67	9,81	219,49	8,38	57,33	276,83
74	12,10	86,00	114,00	36,32	34,92	10,01	141,56	172	28,67	9,81	218,67	7,90	57,33	276,00
75	12,10	86,00	114,00	36,32	35,09	9,40	141,69	172	28,67	9,81	217,75	7,42	57,33	275,09

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
76	12,10	86,00	114,00	36,32	35,24	8,79	141,82	172	28,67	9,81	216,76	6,94	57,33	274,09
77	12,10	86,00	114,00	36,32	35,39	8,17	141,93	172	28,67	9,81	215,69	6,45	57,33	273,02
78	12,10	86,00	114,00	36,32	35,53	7,55	142,04	172	28,67	9,81	214,54	5,96	57,33	271,87
79	12,10	86,00	114,00	36,32	35,66	6,93	142,14	172	28,67	9,81	213,31	5,47	57,33	270,65
80	12,10	86,00	114,00	36,32	35,77	6,31	142,23	172	28,67	9,81	212,02	4,98	57,33	269,35
81	12,10	86,00	114,00	36,32	35,88	5,68	142,31	172	28,67	9,81	210,66	4,48	57,33	267,99
82	12,10	86,00	114,00	36,32	35,97	5,06	142,39	172	28,67	9,81	209,23	3,99	57,33	266,57
83	12,10	86,00	114,00	36,32	36,05	4,43	142,45	172	28,67	9,81	207,75	3,49	57,33	265,08
84	12,10	86,00	114,00	36,32	36,12	3,80	142,51	172	28,67	9,81	206,21	3,00	57,33	263,54
85	12,10	86,00	114,00	36,32	36,19	3,17	142,56	172	28,67	9,81	204,61	2,50	57,33	261,94
86	12,10	86,00	114,00	36,32	36,24	2,53	142,60	172	28,67	9,81	202,96	2,00	57,33	260,29
87	12,10	86,00	114,00	36,32	36,27	1,90	142,63	172	28,67	9,81	201,26	1,50	57,33	258,59
88	12,10	86,00	114,00	36,32	36,30	1,27	142,65	172	28,67	9,81	199,51	1,00	57,33	256,85
89	12,10	86,00	114,00	36,32	36,32	0,63	142,66	172	28,67	9,81	197,73	0,50	57,33	255,06
90	12,10	86,00	114,00	36,32	36,32	0,00	142,67	172	28,67	9,81	195,90	0,00	57,33	253,23

Per un angolo compreso tra 270° e 360° il valore della Gittata sarà negativo perché verso sinistra

Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
270	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,32	0,00	85,33	172	28,67	9,81	-151,51	0,00	57,33	-208,84
271	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,32	0,63	85,34	172	28,67	9,81	-154,35	0,50	57,33	-211,69
272	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,30	1,27	85,35	172	28,67	9,81	-157,19	1,00	57,33	-214,53
273	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,27	1,90	85,37	172	28,67	9,81	-160,03	1,50	57,33	-217,36
274	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,24	2,53	85,40	172	28,67	9,81	-162,85	2,00	57,33	-220,18
275	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,19	3,17	85,44	172	28,67	9,81	-165,65	2,50	57,33	-222,99
276	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,12	3,80	85,49	172	28,67	9,81	-168,44	3,00	57,33	-225,77
277	12,10	86,00	114,00	36,32	-36,05	4,43	85,55	172	28,67	9,81	-171,20	3,49	57,33	-228,54
278	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,97	5,06	85,61	172	28,67	9,81	-173,94	3,99	57,33	-231,28
279	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,88	5,68	85,69	172	28,67	9,81	-176,65	4,48	57,33	-233,98
280	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,77	6,31	85,77	172	28,67	9,81	-179,32	4,98	57,33	-236,65
281	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,66	6,93	85,86	172	28,67	9,81	-181,95	5,47	57,33	-239,29
282	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,53	7,55	85,96	172	28,67	9,81	-184,55	5,96	57,33	-241,88
283	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,39	8,17	86,07	172	28,67	9,81	-187,09	6,45	57,33	-244,42

284	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,24	8,79	86,18	172	28,67	9,81	-189,58	6,94	57,33	-246,91
285	12,10	86,00	114,00	36,32	-35,09	9,40	86,31	172	28,67	9,81	-192,01	7,42	57,33	-249,35
286	12,10	86,00	114,00	36,32	-34,92	10,01	86,44	172	28,67	9,81	-194,39	7,90	57,33	-251,72
287	12,10	86,00	114,00	36,32	-34,74	10,62	86,59	172	28,67	9,81	-196,70	8,38	57,33	-254,03
288	12,10	86,00	114,00	36,32	-34,55	11,22	86,74	172	28,67	9,81	-198,94	8,86	57,33	-256,27
289	12,10	86,00	114,00	36,32	-34,34	11,83	86,90	172	28,67	9,81	-201,10	9,33	57,33	-258,44
290	12,10	86,00	114,00	36,32	-34,13	12,42	87,06	172	28,67	9,81	-203,19	9,80	57,33	-260,53
291	12,10	86,00	114,00	36,32	-33,91	13,02	87,24	172	28,67	9,81	-205,20	10,27	57,33	-262,53
292	12,10	86,00	114,00	36,32	-33,68	13,61	87,42	172	28,67	9,81	-207,11	10,74	57,33	-264,45
293	12,10	86,00	114,00	36,32	-33,44	14,19	87,61	172	28,67	9,81	-208,94	11,20	57,33	-266,27
294	12,10	86,00	114,00	36,32	-33,18	14,77	87,81	172	28,67	9,81	-210,67	11,66	57,33	-268,00
295	12,10	86,00	114,00	36,32	-32,92	15,35	88,02	172	28,67	9,81	-212,30	12,12	57,33	-269,63
296	12,10	86,00	114,00	36,32	-32,65	15,92	88,23	172	28,67	9,81	-213,82	12,57	57,33	-271,16
297	12,10	86,00	114,00	36,32	-32,36	16,49	88,46	172	28,67	9,81	-215,24	13,01	57,33	-272,57
298	12,10	86,00	114,00	36,32	-32,07	17,05	88,69	172	28,67	9,81	-216,54	13,46	57,33	-273,88
299	12,10	86,00	114,00	36,32	-31,77	17,61	88,93	172	28,67	9,81	-217,73	13,90	57,33	-275,06
300	12,10	86,00	114,00	36,32	-31,46	18,16	89,17	172	28,67	9,81	-218,80	14,33	57,33	-276,13
301	12,10	86,00	114,00	36,32	-31,14	18,71	89,43	172	28,67	9,81	-219,74	14,76	57,33	-277,08
302	12,10	86,00	114,00	36,32	-30,80	19,25	89,69	172	28,67	9,81	-220,56	15,19	57,33	-277,90
303	12,10	86,00	114,00	36,32	-30,46	19,78	89,96	172	28,67	9,81	-221,25	15,61	57,33	-278,58
304	12,10	86,00	114,00	36,32	-30,11	20,31	90,23	172	28,67	9,81	-221,81	16,03	57,33	-279,14
305	12,10	86,00	114,00	36,32	-29,75	20,83	90,52	172	28,67	9,81	-222,22	16,44	57,33	-279,56
306	12,10	86,00	114,00	36,32	-29,39	21,35	90,81	172	28,67	9,81	-222,50	16,85	57,33	-279,84
307	12,10	86,00	114,00	36,32	-29,01	21,86	91,11	172	28,67	9,81	-222,64	17,25	57,33	-279,98
Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
308	12,10	86,00	114,00	36,32	-28,62	22,36	91,41	172	28,67	9,81	-222,64	17,65	57,33	-279,97
309	12,10	86,00	114,00	36,32	-28,23	22,86	91,72	172	28,67	9,81	-222,48	18,04	57,33	-279,82
310	12,10	86,00	114,00	36,32	-27,83	23,35	92,04	172	28,67	9,81	-222,18	18,43	57,33	-279,52
311	12,10	86,00	114,00	36,32	-27,41	23,83	92,36	172	28,67	9,81	-221,73	18,81	57,33	-279,07
312	12,10	86,00	114,00	36,32	-26,99	24,31	92,70	172	28,67	9,81	-221,13	19,18	57,33	-278,46
313	12,10	86,00	114,00	36,32	-26,57	24,77	93,03	172	28,67	9,81	-220,37	19,55	57,33	-277,71
314	12,10	86,00	114,00	36,32	-26,13	25,23	93,38	172	28,67	9,81	-219,46	19,91	57,33	-276,80
315	12,10	86,00	114,00	36,32	-25,68	25,68	93,73	172	28,67	9,81	-218,40	20,27	57,33	-275,73
316	12,10	86,00	114,00	36,32	-25,23	26,13	94,09	172	28,67	9,81	-217,17	20,62	57,33	-274,51
317	12,10	86,00	114,00	36,32	-24,77	26,57	94,45	172	28,67	9,81	-215,79	20,97	57,33	-273,12
318	12,10	86,00	114,00	36,32	-24,31	26,99	94,82	172	28,67	9,81	-214,25	21,30	57,33	-271,58
319	12,10	86,00	114,00	36,32	-23,83	27,41	95,19	172	28,67	9,81	-212,55	21,64	57,33	-269,89
320	12,10	86,00	114,00	36,32	-23,35	27,83	95,57	172	28,67	9,81	-210,70	21,96	57,33	-268,03
321	12,10	86,00	114,00	36,32	-22,86	28,23	95,96	172	28,67	9,81	-208,68	22,28	57,33	-266,01
322	12,10	86,00	114,00	36,32	-22,36	28,62	96,35	172	28,67	9,81	-206,51	22,59	57,33	-263,84
323	12,10	86,00	114,00	36,32	-21,86	29,01	96,75	172	28,67	9,81	-204,18	22,89	57,33	-261,51
324	12,10	86,00	114,00	36,32	-21,35	29,39	97,15	172	28,67	9,81	-201,69	23,19	57,33	-259,02
325	12,10	86,00	114,00	36,32	-20,83	29,75	97,56	172	28,67	9,81	-199,04	23,48	57,33	-256,38
326	12,10	86,00	114,00	36,32	-20,31	30,11	97,97	172	28,67	9,81	-196,25	23,77	57,33	-253,58
327	12,10	86,00	114,00	36,32	-19,78	30,46	98,39	172	28,67	9,81	-193,29	24,04	57,33	-250,63
328	12,10	86,00	114,00	36,32	-19,25	30,80	98,81	172	28,67	9,81	-190,19	24,31	57,33	-247,52
329	12,10	86,00	114,00	36,32	-18,71	31,14	99,24	172	28,67	9,81	-186,94	24,57	57,33	-244,27
330	12,10	86,00	114,00	36,32	-18,16	31,46	99,67	172	28,67	9,81	-183,54	24,83	57,33	-240,87
331	12,10	86,00	114,00	36,32	-17,61	31,77	100,10	172	28,67	9,81	-179,99	25,07	57,33	-237,32
332	12,10	86,00	114,00	36,32	-17,05	32,07	100,54	172	28,67	9,81	-176,29	25,31	57,33	-233,63
333	12,10	86,00	114,00	36,32	-16,49	32,36	100,99	172	28,67	9,81	-172,46	25,54	57,33	-229,79
334	12,10	86,00	114,00	36,32	-15,92	32,65	101,43	172	28,67	9,81	-168,49	25,77	57,33	-225,82
335	12,10	86,00	114,00	36,32	-15,35	32,92	101,88	172	28,67	9,81	-164,38	25,98	57,33	-221,71
336	12,10	86,00	114,00	36,32	-14,77	33,18	102,34	172	28,67	9,81	-160,14	26,19	57,33	-217,47
Angolo α	n	L	H _{torre}	v ₀	v _{x0}	v _{y0}	H _g	D	r _g	g	Gittata teorica	X _g	L _g	Gittata Effettiva
337	12,10	86,00	114,00	36,32	-14,19	33,44	102,80	172	28,67	9,81	-155,77	26,39	57,33	-213,10
338	12,10	86,00	114,00	36,32	-13,61	33,68	103,26	172	28,67	9,81	-151,27	26,58	57,33	-208,60
339	12,10	86,00	114,00	36,32	-13,02	33,91	103,73	172	28,67	9,81	-146,65	26,76	57,33	-203,98
340	12,10	86,00	114,00	36,32	-12,42	34,13	104,20	172	28,67	9,81	-141,91	26,94	57,33	-199,24
341	12,10	86,00	114,00	36,32	-11,83	34,34	104,67	172	28,67	9,81	-137,05	27,10	57,33	-194,39
342	12,10	86,00	114,00	36,32	-11,22	34,55	105,14	172	28,67	9,81	-132,08	27,26	57,33	-189,42
343	12,10	86,00	114,00	36,32	-10,62	34,74	105,62	172	28,67	9,81	-127,01	27,41	57,33	-184,34
344	12,10	86,00	114,00	36,32	-10,01	34,92	106,10	172	28,67	9,81	-121,83	27,56	57,33	-179,16
345	12,10	86,00	114,00	36,32	-9,40	35,09	106,58	172	28,67	9,81	-116,55	27,69	57,33	-173,88

346	12,10	86,00	114,00	36,32	-8,79	35,24	107,06	172	28,67	9,81	-111,18	27,82	57,33	-168,51
347	12,10	86,00	114,00	36,32	-8,17	35,39	107,55	172	28,67	9,81	-105,71	27,93	57,33	-163,05
348	12,10	86,00	114,00	36,32	-7,55	35,53	108,04	172	28,67	9,81	-100,16	28,04	57,33	-157,50
349	12,10	86,00	114,00	36,32	-6,93	35,66	108,53	172	28,67	9,81	-94,53	28,14	57,33	-151,87
350	12,10	86,00	114,00	36,32	-6,31	35,77	109,02	172	28,67	9,81	-88,83	28,23	57,33	-146,16
351	12,10	86,00	114,00	36,32	-5,68	35,88	109,52	172	28,67	9,81	-83,05	28,31	57,33	-140,38
352	12,10	86,00	114,00	36,32	-5,06	35,97	110,01	172	28,67	9,81	-77,20	28,39	57,33	-134,54
353	12,10	86,00	114,00	36,32	-4,43	36,05	110,51	172	28,67	9,81	-71,30	28,45	57,33	-128,63
354	12,10	86,00	114,00	36,32	-3,80	36,12	111,00	172	28,67	9,81	-65,33	28,51	57,33	-122,67
355	12,10	86,00	114,00	36,32	-3,17	36,19	111,50	172	28,67	9,81	-59,32	28,56	57,33	-116,65
356	12,10	86,00	114,00	36,32	-2,53	36,24	112,00	172	28,67	9,81	-53,26	28,60	57,33	-110,59
357	12,10	86,00	114,00	36,32	-1,90	36,27	112,50	172	28,67	9,81	-47,16	28,63	57,33	-104,49
358	12,10	86,00	114,00	36,32	-1,27	36,30	113,00	172	28,67	9,81	-41,02	28,65	57,33	-98,36
359	12,10	86,00	114,00	36,32	-0,63	36,32	113,50	172	28,67	9,81	-34,86	28,66	57,33	-92,19
360	12,10	86,00	114,00	36,32	0,00	36,32	114,00	172	28,67	9,81	-28,67	28,67	57,33	-86,00