



**REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**



**COMUNE DI
ESTERZILI**



**COMUNE DI
ESCALAPLANO**



**COMUNE DI
SEUI**

COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 136,84 MW CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA - IMPIANTO DENOMINATO "ESTERZILI WIND" UBICATO IN AGRO DEL COMUNE DI ESTERZILI, ESCALAPLANO E SEUI

ELABORATO: ANALISI DEGLI EFFETTI DELLA ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI

**COMMITTENTE
SCS INNOVATIONS
Via GEN ANTONELLI 3 - MONOPOLI**

PROGETTAZIONE



PROGETTAZIONE



REVISIONI

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
	GENNAIO 2024		Ing. Serena La Grua	Ing. Emanuele Verdoscia	Dott. Cosimo Sisto

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. METODO DI CALCOLO	3
3. SIMULAZIONE.....	5
4. CONCLUSIONI.....	6
5. TABULATI DI CALCOLO	8

1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è rappresentato dalla valutazione simulata dei possibili effetti sull'ambiente derivanti dall'eventuale distacco per rottura degli organi rotanti degli aerogeneratori costituenti il parco eolico denominato "ESTERZILI WIND".

Le parti in movimento degli aerogeneratori (lame), azionate dalle azioni aerodinamiche del vento, sono gli elementi oggetto di studio per la valutazione delle problematiche di cui alla presente relazione nelle condizioni di esercizio ed in particolare al raggiungimento della massima velocità di rotazione per azioni del vento ortogonali all'area di impatto (costituita dalla superficie definita dall'evoluzione delle lame nella porzione spaziale circolare) il cui verso è tangenziale alla pala.

Lo studio dei fenomeni di distacco è essenzialmente riconducibile a due categorie:

- 1) Caduta di frammenti di ghiaccio sagomatisi sulle lame in condizioni climatiche specifiche;
- 2) Rottura accidentale di pezzi di lama in rotazione.

Il primo fenomeno è del tutto trascurabile viste le particolari condizioni di microclima presenti nella zona interessata dall'impianto mentre il secondo fenomeno risulta di particolare interesse e pertanto merita un approfondimento finalizzato al raggiungimento delle condizioni di sicurezza per l'ambiente circostante a seguito dell'eventuale manifestazione dell'evento.

Il distacco di organi rotanti è essenzialmente riconducibile a due principali cause:

- Distacco della lama dal rotore (rottura meccanica);
- Rottura di parte della lama.

Nel secondo caso, essendo le lame realizzate tipicamente in fibra di vetro rinforzata con materiali plastici, a seguito di particolari condizioni è possibile che si verifichino danneggiamenti con conseguenti aperture di cricche con propagazione di lesioni che possono provocare, in casi estremi, la frammentazione della lama stessa. Uno dei principali eventi che comporta questo tipo di rottura è rappresentato dalla fulminazione atmosferica anche se le lame sono idoneamente protette contro questi fenomeni mediante ricettori metallici disposti alle estremità delle lame ed idoneamente collegati a terra.

Nel caso di rottura accidentale di un elemento rotante a seguito di distacco, attraverso le leggi della balistica classica è possibile determinare le probabili traiettorie dell'elemento. Infatti, nota la velocità di rotazione e le caratteristiche geometriche si può procedere all'applicazione delle leggi della fisica per addivenire ad una matematica stima delle traiettorie.

Questa stima è chiaramente semplificata vista la complessità del problema e le molte variabili che entrano nel calcolo, soprattutto per ciò che riguarda le azioni aerodinamiche di portanza, resistenza e

momento aerodinamico di difficile definizione soprattutto in caso di frammenti irregolari e di geometrie incognite.

In letteratura esistono degli studi condotti relativamente a questa specifica tematica. Uno dei riferimenti è rappresentato dallo studio condotto dalla società Vestas Wind System: “Vestas V80 – Blade Trow calculation under normal operationing conditions (2001)”.

Detto studio riporta la stima della traiettoria di una pala eolica in condizioni di normale funzionamento sia per la pala intera che per eventuali frammenti.

Lo studio ipotizza che, in assenza di forze aerodinamiche, la massima gittata si ottiene quando la pala si distacca dal rotore con un angolo di 135° azimut, considerando quale unica forza inerziale quella di gravità con approccio quindi conservativo e a vantaggio di sicurezza.

Viene quindi calcolato il tempo di volo considerando la velocità verticale iniziale applicata al centro di gravità. Nota la durata di volo e conoscendo le componenti orizzontali e verticali della velocità è possibile definire la traiettoria dell'elemento.

Nello studio citato la Vestas dichiara che l'esperienza pratica su tutta la flotta operativa (4.959 unità al giugno 2007) 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 che sono stati presentati. Frammenti di pala, solitamente di piccole dimensioni, per la maggior parte staccatisi a causa di azioni esterne (la già citata fulminazione atmosferica ad esempio) o imperizia umana, sarebbero stati ritrovati a circa 40-50 m dalla base dell'aerogeneratore.

2. METODO DI CALCOLO

Lo studio è condotto mediante l'ipotesi di distacco della pala dal rotore nel suo complesso, considerando anche i moti di rotazione intorno agli assi XX, YY e ZZ. Questo caso dovrebbe dare la proiezione più realistica della traiettoria di una pala. La rotazione della pala intorno all'asse ZZ è causato dalla conservazione del momento della quantità di moto. L'incidenza del vento out-of-plane sulla pala genera un momento intorno all'asse YY (poiché centro di massa e centro aerodinamico della pala non sono coincidenti).

Si precisa che lo studio prende in esame simultaneamente i valori massimi di tutti i parametri coinvolti, ovverosia velocità di rotazione massima, velocità del vento massima, forze di spinta. Tale approccio è decisamente cautelativo, poiché sebbene i singoli valori di picco dei parametri siano realizzabili per quanto poco probabili, è assolutamente improbabile la simultaneità di tali valori. Per questa ragione, la simulazione è da considerarsi altamente improbabile.

Inoltre, si trascura l'effetto delle azioni di resistenza aerodinamiche sulla gittata a vantaggio di sicurezza in quanto di difficile valutazione.

Le equazioni del moto che descrivono il problema sono le seguenti:

descrizioni del moto lungo le direzioni x e z:

$$\begin{cases} z = h + v \cdot t \cdot \text{sen}\theta - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ x = v \cdot t \cdot \text{cos}\theta \end{cases}$$

dove:

h è l'altezza iniziale del baricentro del corpo;

v è la velocità iniziale tangenziale del baricentro del corpo;

t è il tempo di volo;

θ l'angolo di lancio;

g è l'accelerazione di gravità

per $z = 0$ il corpo tocca terra e pertanto si conclude, pertanto l'equazione di $z = 0$ è la seguente:

$$h + v \cdot t \cdot \text{sen}\theta - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 0$$

da cui si ricava il tempo di volo t (valore positivo)

$$t = \frac{1}{g} \left(v \cdot \sin\theta + \sqrt{v^2 \cdot \sin^2\theta + 2 \cdot g \cdot h} \right)$$

sostituendo in x si ottiene la **massima gittata**:

$$x = \frac{v}{g} \cdot \cos\theta \cdot \left(v \cdot \sin\theta + \sqrt{v^2 \cdot \sin^2\theta + 2 \cdot g \cdot h} \right)$$

La relazione tra la velocità angolare e quella tangenziale è definita dalla relazione

$$v = \omega \cdot r_g$$

con ω velocità di rotazione ed r_g distanza tra il centro di rotazione ed il baricentro del corpo.

In funzione dell'aerogeneratore si può esprimere l'altezza iniziale del baricentro del corpo:

$$h = H_{mozzo} + r_g \cdot \cos\theta$$

ottenendo l'espressione della gittata in funzione dell'angolo θ :

$$x(\theta) = \frac{\omega^2 \cdot r_g^2 \cdot \sin 2\theta}{2 \cdot g} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot g \cdot H_{mozzo} + r_g \cdot \cos\theta}{\omega^2 \cdot r_g^2 \cdot \sin\theta}} \right)$$

Il valore massimo viene cautelativamente incrementato del 20% per ulteriore sicurezza nei confronti di ricettori sensibili quali strade provinciali, comunali e private di accesso alle abitazioni, fabbricati ad uso abitativo e fabbricati ad uso agricolo (D10).

3. SIMULAZIONE

Di seguito viene riportata la simulazione eseguita e relativa all'aerogeneratore prescelto **NORTEX 175/6.X** di potenza pari a **6,22 MW** per il parco eolico di cui al presente progetto definitivo nell'ipotesi di distacco dell'intera pala. Si riportano i dati di input:

H mozzo	112 m
Lunghezza lama	85,7 m
Rg (i/3 L)	29 m
ω	10 giri/min

Pertanto, dall'equazione della gittata massima sopra citata, si calcola il valore massimo di x che rappresenta la **distanza massima teorica** alla quale potrebbe atterrare un oggetto, distaccatosi per effetto di rottura degli organi rotanti, pari a circa 172 m a partire dall'asse dell'aerogeneratore.

Qualora la simulazione dovesse tenere in conto anche l'effetto dell'attrito viscoso dell'aria, il valore massimo di gittata calcolato con le relazioni sopra riportate può essere ridotto del 15% (valore di letteratura) e pertanto il valore di $x(\theta)$ è stimato pari a circa 146 m.

In riferimento ai ricettori sensibili sopra definiti, per una maggiore cautela nei riguardi di persone e cose, il valore teorico di gittata, che non tiene conto dell'attrito viscoso dell'aria, viene cautelativamente incrementato del 20%, definendo pertanto il raggio di sicurezza, con centro l'asse dell'aerogeneratore, pari a circa 206 m.

4. CONCLUSIONI

Lo studio analitico del fenomeno ha dimostrato che è opportuno evitare la presenza di ricettori sensibili al probabile distacco di organi rotanti nella circonferenza di un raggio di circa 210 m dall'asse dell'aerogeneratore, calcolata incrementando il valore teorico con un coefficiente di sicurezza pari al 20% per le incertezze di calcolo.

Sulla base dell'esperienza pratica della Vestas su tutta la propria flotta operativa (4.959 unità al giugno 2007) si è dimostrato che in caso di distacco di pala le distanze raggiunte sono normalmente risultate inferiori a quelle stimate con i calcoli semplificati in precedenza riportati.

Da quanto esposto appare evidente che il fenomeno di rottura più complesso da stimare analiticamente resta il distacco di un frammento della pala; pertanto, si rimanda all'esperienza dei costruttori più esperti (quali appunto Nordex) i quali indicano detto fenomeno come molto raro e comunque i ritrovamenti dei frammenti a seguito dell'evento non sono mai avvenuti a distanze superiori a 50 metri dall'asse dell'aerogeneratore danneggiato.

Al fine di ridurre il rischio di distacco di frammenti è opportuna una pianificazione e messa in atto di opportune misure di prevenzione e monitoraggio, al fine di poter intervenire in tempo utile per scongiurare l'eventualità di una rottura.

Le azioni di monitoraggio e prevenzione svolte dalla società SCS nei riguardi della tutela dei sistemi rotorici sono i seguenti:

1. Ascolto e osservazione giornaliera e con campagne di indagini visive con lo scopo di evidenziare microalterazioni della superficie delle pale. Le campagne di indagini visive, svolte con telescopi ad alta definizione, servono a certificare periodicamente lo stato delle pale.
2. Monitoraggio strumentale continuo ed automatico di controllo dell'aerogeneratore. Questo, tramite la valutazione di opportuni parametri, è in grado di individuare sbilanciamenti del rotore e, quando diventano significativi, attua il blocco dell'aerogeneratore.

Tali azioni di prevenzione sono dunque volte a mantenere le buone condizioni di uso dei rotori, mentre le azioni di monitoraggio impediscono di mantenere in esercizio operativo dei rotori che non rispondano alle caratteristiche definite dal costruttore.

5. TABULATI DI CALCOLO

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°

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

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

dove :

α = Angolo della pala rispetto all'orizzontale

corrisponde all'angolo tra 91° e 180° dell'angolo velocità

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

$$Y_g = r_g \sin \alpha$$

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

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

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

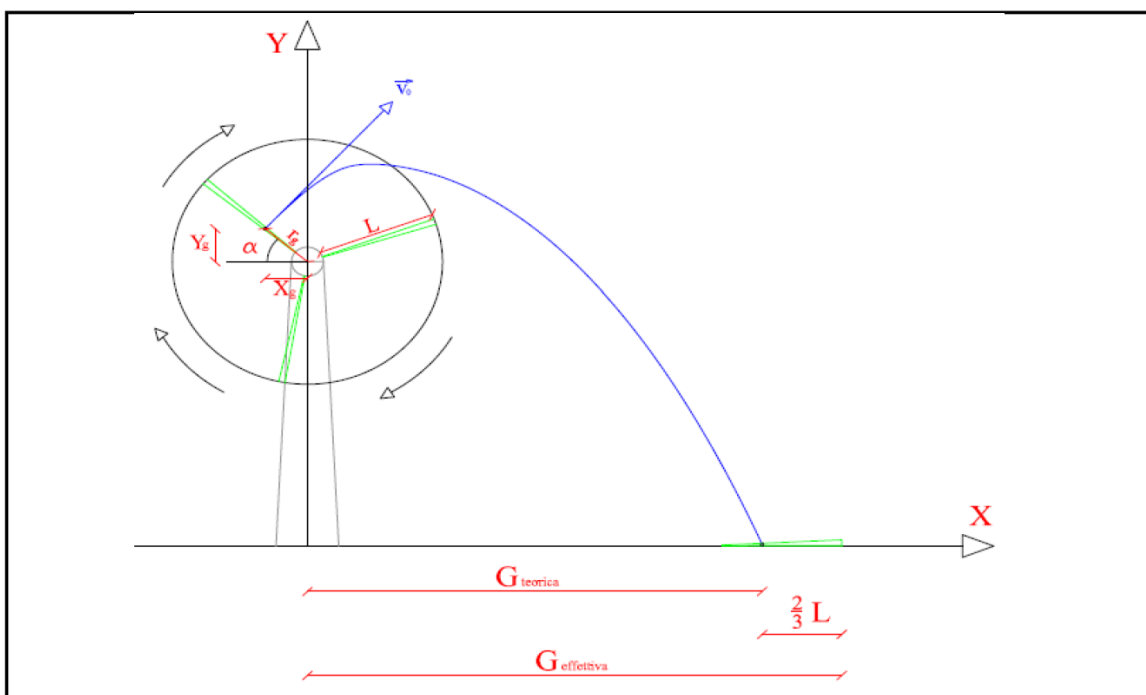
$$v_0 = \omega r_g = (2\pi n r_g)/60$$

n = numero di giri al minuto del rotore

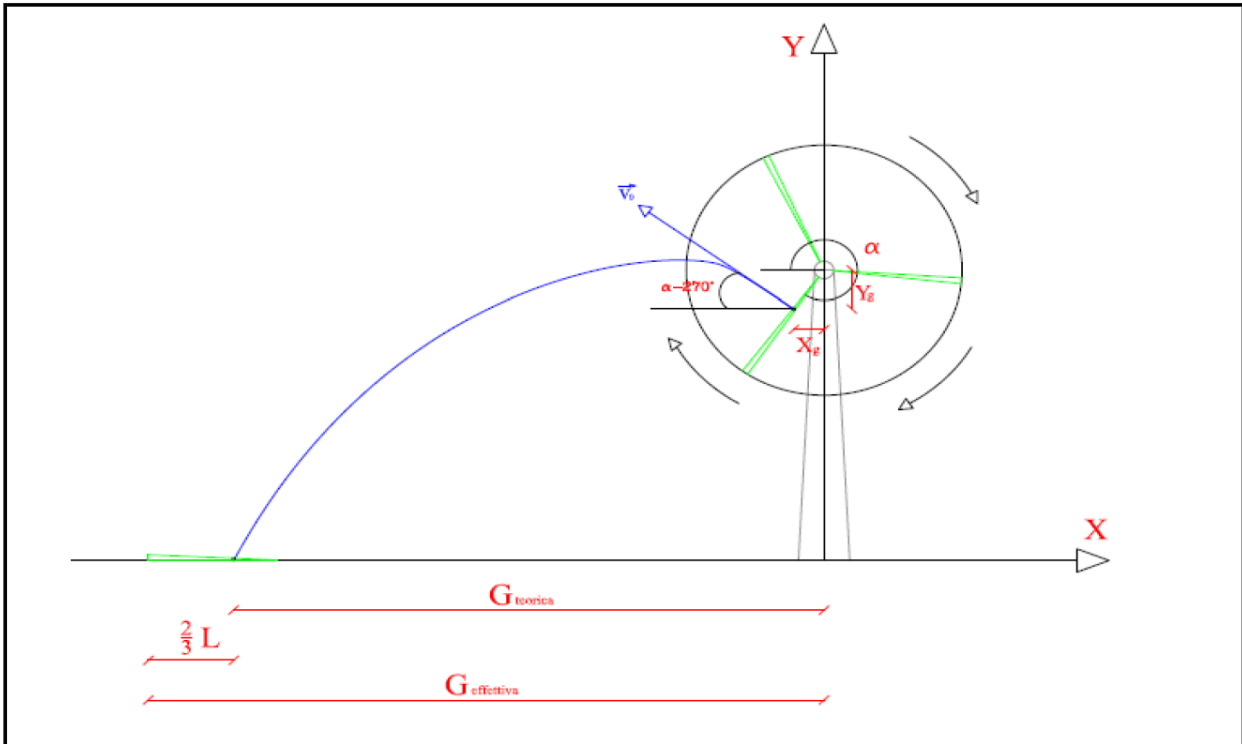
Gittata Effettiva

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

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



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



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

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

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

da inserire															
Numero di giri al minuto del rotore	n =	10	Se non è disponibile il valore di D, inserire almeno D=2L												
Lunghezza della pala in metri	L =	85,7	Diametro del rotore		D =	171,4									
Altezza del mozzo in metri	H _{torre} =	112													

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	10,00	85,70	112,00	29,91	0,00	29,91	112,00	171,4	28,57	9,81	-28,57	28,57	57,13	28,57
1	10,00	85,70	112,00	29,91	0,52	29,91	112,50	171,4	28,57	9,81	-24,01	28,56	57,13	33,13
2	10,00	85,70	112,00	29,91	1,04	29,90	113,00	171,4	28,57	9,81	-19,43	28,55	57,13	37,70
3	10,00	85,70	112,00	29,91	1,57	29,87	113,50	171,4	28,57	9,81	-14,85	28,53	57,13	42,29
4	10,00	85,70	112,00	29,91	2,09	29,84	113,99	171,4	28,57	9,81	-10,25	28,50	57,13	46,88
5	10,00	85,70	112,00	29,91	2,61	29,80	114,49	171,4	28,57	9,81	-5,66	28,46	57,13	51,48
6	10,00	85,70	112,00	29,91	3,13	29,75	114,99	171,4	28,57	9,81	-1,06	28,41	57,13	56,07
7	10,00	85,70	112,00	29,91	3,65	29,69	115,48	171,4	28,57	9,81	3,53	28,35	57,13	60,66
8	10,00	85,70	112,00	29,91	4,16	29,62	115,98	171,4	28,57	9,81	8,11	28,29	57,13	65,25
9	10,00	85,70	112,00	29,91	4,68	29,55	116,47	171,4	28,57	9,81	12,69	28,21	57,13	69,82
10	10,00	85,70	112,00	29,91	5,19	29,46	116,96	171,4	28,57	9,81	17,25	28,13	57,13	74,38
11	10,00	85,70	112,00	29,91	5,71	29,37	117,45	171,4	28,57	9,81	21,79	28,04	57,13	78,92
12	10,00	85,70	112,00	29,91	6,22	29,26	117,94	171,4	28,57	9,81	26,31	27,94	57,13	83,44
13	10,00	85,70	112,00	29,91	6,73	29,15	118,43	171,4	28,57	9,81	30,80	27,83	57,13	87,94
14	10,00	85,70	112,00	29,91	7,24	29,03	118,91	171,4	28,57	9,81	35,27	27,72	57,13	92,40
15	10,00	85,70	112,00	29,91	7,74	28,90	119,39	171,4	28,57	9,81	39,70	27,59	57,13	96,84
16	10,00	85,70	112,00	29,91	8,25	28,76	119,87	171,4	28,57	9,81	44,10	27,46	57,13	101,23
17	10,00	85,70	112,00	29,91	8,75	28,61	120,35	171,4	28,57	9,81	48,46	27,32	57,13	105,60

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
18	10,00	85,70	112,00	29,91	9,24	28,45	120,83	171,4	28,57	9,81	52,78	27,17	57,13	109,91
19	10,00	85,70	112,00	29,91	9,74	28,29	121,30	171,4	28,57	9,81	57,06	27,01	57,13	114,19
20	10,00	85,70	112,00	29,91	10,23	28,11	121,77	171,4	28,57	9,81	61,28	26,84	57,13	118,42
21	10,00	85,70	112,00	29,91	10,72	27,93	122,24	171,4	28,57	9,81	65,46	26,67	57,13	122,59
22	10,00	85,70	112,00	29,91	11,21	27,74	122,70	171,4	28,57	9,81	69,58	26,49	57,13	126,72
23	10,00	85,70	112,00	29,91	11,69	27,54	123,16	171,4	28,57	9,81	73,65	26,30	57,13	130,78
24	10,00	85,70	112,00	29,91	12,17	27,33	123,62	171,4	28,57	9,81	77,66	26,10	57,13	134,79
25	10,00	85,70	112,00	29,91	12,64	27,11	124,07	171,4	28,57	9,81	81,60	25,89	57,13	138,74
26	10,00	85,70	112,00	29,91	13,11	26,89	124,52	171,4	28,57	9,81	85,48	25,68	57,13	142,62
27	10,00	85,70	112,00	29,91	13,58	26,65	124,97	171,4	28,57	9,81	89,30	25,45	57,13	146,43
28	10,00	85,70	112,00	29,91	14,04	26,41	125,41	171,4	28,57	9,81	93,05	25,22	57,13	150,18
29	10,00	85,70	112,00	29,91	14,50	26,16	125,85	171,4	28,57	9,81	96,72	24,98	57,13	153,85
30	10,00	85,70	112,00	29,91	14,96	25,91	126,28	171,4	28,57	9,81	100,32	24,74	57,13	157,45
31	10,00	85,70	112,00	29,91	15,41	25,64	126,71	171,4	28,57	9,81	103,85	24,49	57,13	160,98
32	10,00	85,70	112,00	29,91	15,85	25,37	127,14	171,4	28,57	9,81	107,29	24,23	57,13	164,43
33	10,00	85,70	112,00	29,91	16,29	25,09	127,56	171,4	28,57	9,81	110,66	23,96	57,13	167,79
34	10,00	85,70	112,00	29,91	16,73	24,80	127,97	171,4	28,57	9,81	113,95	23,68	57,13	171,08
35	10,00	85,70	112,00	29,91	17,16	24,50	128,39	171,4	28,57	9,81	117,15	23,40	57,13	174,28
36	10,00	85,70	112,00	29,91	17,58	24,20	128,79	171,4	28,57	9,81	120,27	23,11	57,13	177,40
37	10,00	85,70	112,00	29,91	18,00	23,89	129,19	171,4	28,57	9,81	123,30	22,81	57,13	180,43
38	10,00	85,70	112,00	29,91	18,42	23,57	129,59	171,4	28,57	9,81	126,25	22,51	57,13	183,38
39	10,00	85,70	112,00	29,91	18,83	23,25	129,98	171,4	28,57	9,81	129,10	22,20	57,13	186,24
40	10,00	85,70	112,00	29,91	19,23	22,92	130,36	171,4	28,57	9,81	131,87	21,88	57,13	189,00
41	10,00	85,70	112,00	29,91	19,63	22,58	130,74	171,4	28,57	9,81	134,55	21,56	57,13	191,68
42	10,00	85,70	112,00	29,91	20,02	22,23	131,11	171,4	28,57	9,81	137,13	21,23	57,13	194,26
43	10,00	85,70	112,00	29,91	20,40	21,88	131,48	171,4	28,57	9,81	139,62	20,89	57,13	196,75
44	10,00	85,70	112,00	29,91	20,78	21,52	131,84	171,4	28,57	9,81	142,02	20,55	57,13	199,15
45	10,00	85,70	112,00	29,91	21,15	21,15	132,20	171,4	28,57	9,81	144,32	20,20	57,13	201,46
46	10,00	85,70	112,00	29,91	21,52	20,78	132,55	171,4	28,57	9,81	146,54	19,84	57,13	203,67

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
47	10,00	85,70	112,00	29,91	21,88	20,40	132,89	171,4	28,57	9,81	148,65	19,48	57,13	205,78
48	10,00	85,70	112,00	29,91	22,23	20,02	133,23	171,4	28,57	9,81	150,67	19,11	57,13	207,81
49	10,00	85,70	112,00	29,91	22,58	19,63	133,56	171,4	28,57	9,81	152,60	18,74	57,13	209,73
50	10,00	85,70	112,00	29,91	22,92	19,23	133,88	171,4	28,57	9,81	154,43	18,36	57,13	211,56
51	10,00	85,70	112,00	29,91	23,25	18,83	134,20	171,4	28,57	9,81	156,17	17,98	57,13	213,30
52	10,00	85,70	112,00	29,91	23,57	18,42	134,51	171,4	28,57	9,81	157,81	17,59	57,13	214,94
53	10,00	85,70	112,00	29,91	23,89	18,00	134,81	171,4	28,57	9,81	159,36	17,19	57,13	216,49
54	10,00	85,70	112,00	29,91	24,20	17,58	135,11	171,4	28,57	9,81	160,81	16,79	57,13	217,94
55	10,00	85,70	112,00	29,91	24,50	17,16	135,40	171,4	28,57	9,81	162,17	16,39	57,13	219,30
56	10,00	85,70	112,00	29,91	24,80	16,73	135,68	171,4	28,57	9,81	163,44	15,97	57,13	220,57
57	10,00	85,70	112,00	29,91	25,09	16,29	135,96	171,4	28,57	9,81	164,61	15,56	57,13	221,75
58	10,00	85,70	112,00	29,91	25,37	15,85	136,23	171,4	28,57	9,81	165,70	15,14	57,13	222,83
59	10,00	85,70	112,00	29,91	25,64	15,41	136,49	171,4	28,57	9,81	166,69	14,71	57,13	223,82
60	10,00	85,70	112,00	29,91	25,91	14,96	136,74	171,4	28,57	9,81	167,59	14,28	57,13	224,73
61	10,00	85,70	112,00	29,91	26,16	14,50	136,98	171,4	28,57	9,81	168,41	13,85	57,13	225,54
62	10,00	85,70	112,00	29,91	26,41	14,04	137,22	171,4	28,57	9,81	169,14	13,41	57,13	226,27
63	10,00	85,70	112,00	29,91	26,65	13,58	137,45	171,4	28,57	9,81	169,78	12,97	57,13	226,91
64	10,00	85,70	112,00	29,91	26,89	13,11	137,68	171,4	28,57	9,81	170,33	12,52	57,13	227,47
65	10,00	85,70	112,00	29,91	27,11	12,64	137,89	171,4	28,57	9,81	170,80	12,07	57,13	227,94
66	10,00	85,70	112,00	29,91	27,33	12,17	138,10	171,4	28,57	9,81	171,19	11,62	57,13	228,33
67	10,00	85,70	112,00	29,91	27,54	11,69	138,30	171,4	28,57	9,81	171,50	11,16	57,13	228,64
68	10,00	85,70	112,00	29,91	27,74	11,21	138,49	171,4	28,57	9,81	171,73	10,70	57,13	228,86
69	10,00	85,70	112,00	29,91	27,93	10,72	138,67	171,4	28,57	9,81	171,88	10,24	57,13	229,01
70	10,00	85,70	112,00	29,91	28,11	10,23	138,84	171,4	28,57	9,81	171,96	9,77	57,13	229,09
71	10,00	85,70	112,00	29,91	28,29	9,74	139,01	171,4	28,57	9,81	171,96	9,30	57,13	229,09
72	10,00	85,70	112,00	29,91	28,45	9,24	139,17	171,4	28,57	9,81	171,88	8,83	57,13	229,02
73	10,00	85,70	112,00	29,91	28,61	8,75	139,32	171,4	28,57	9,81	171,74	8,35	57,13	228,87
74	10,00	85,70	112,00	29,91	28,76	8,25	139,46	171,4	28,57	9,81	171,52	7,87	57,13	228,66
75	10,00	85,70	112,00	29,91	28,90	7,74	139,59	171,4	28,57	9,81	171,24	7,39	57,13	228,37

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	10,00	85,70	112,00	29,91	29,03	7,24	139,72	171,4	28,57	9,81	170,89	6,91	57,13	228,03
77	10,00	85,70	112,00	29,91	29,15	6,73	139,83	171,4	28,57	9,81	170,48	6,43	57,13	227,61
78	10,00	85,70	112,00	29,91	29,26	6,22	139,94	171,4	28,57	9,81	170,01	5,94	57,13	227,14
79	10,00	85,70	112,00	29,91	29,37	5,71	140,04	171,4	28,57	9,81	169,47	5,45	57,13	226,60
80	10,00	85,70	112,00	29,91	29,46	5,19	140,13	171,4	28,57	9,81	168,88	4,96	57,13	226,01
81	10,00	85,70	112,00	29,91	29,55	4,68	140,21	171,4	28,57	9,81	168,23	4,47	57,13	225,36
82	10,00	85,70	112,00	29,91	29,62	4,16	140,29	171,4	28,57	9,81	167,52	3,98	57,13	224,66
83	10,00	85,70	112,00	29,91	29,69	3,65	140,35	171,4	28,57	9,81	166,77	3,48	57,13	223,90
84	10,00	85,70	112,00	29,91	29,75	3,13	140,41	171,4	28,57	9,81	165,96	2,99	57,13	223,09
85	10,00	85,70	112,00	29,91	29,80	2,61	140,46	171,4	28,57	9,81	165,10	2,49	57,13	222,23
86	10,00	85,70	112,00	29,91	29,84	2,09	140,50	171,4	28,57	9,81	164,20	1,99	57,13	221,33
87	10,00	85,70	112,00	29,91	29,87	1,57	140,53	171,4	28,57	9,81	163,25	1,50	57,13	220,38
88	10,00	85,70	112,00	29,91	29,90	1,04	140,55	171,4	28,57	9,81	162,25	1,00	57,13	219,39
89	10,00	85,70	112,00	29,91	29,91	0,52	140,56	171,4	28,57	9,81	161,22	0,50	57,13	218,35
90	10,00	85,70	112,00	29,91	29,91	0,00	140,57	171,4	28,57	9,81	160,14	0,00	57,13	217,28

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	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,91	0,00	83,43	171,4	28,57	9,81	-123,38	0,00	57,13	-180,51
271	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,91	0,52	83,44	171,4	28,57	9,81	-125,46	0,50	57,13	-182,60
272	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,90	1,04	83,45	171,4	28,57	9,81	-127,54	1,00	57,13	-184,67
273	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,87	1,57	83,47	171,4	28,57	9,81	-129,59	1,50	57,13	-186,73
274	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,84	2,09	83,50	171,4	28,57	9,81	-131,63	1,99	57,13	-188,77
275	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,80	2,61	83,54	171,4	28,57	9,81	-133,65	2,49	57,13	-190,79
276	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,75	3,13	83,59	171,4	28,57	9,81	-135,65	2,99	57,13	-192,79
277	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,69	3,65	83,65	171,4	28,57	9,81	-137,63	3,48	57,13	-194,76
278	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,62	4,16	83,71	171,4	28,57	9,81	-139,57	3,98	57,13	-196,71

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
279	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,55	4,68	83,79	171,4	28,57	9,81	-141,49	4,47	57,13	-198,62
280	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,46	5,19	83,87	171,4	28,57	9,81	-143,37	4,96	57,13	-200,51
281	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,37	5,71	83,96	171,4	28,57	9,81	-145,22	5,45	57,13	-202,36
282	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,26	6,22	84,06	171,4	28,57	9,81	-147,04	5,94	57,13	-204,17
283	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,15	6,73	84,17	171,4	28,57	9,81	-148,81	6,43	57,13	-205,94
284	10,00	85,70	112,00	29,91	-29,03	7,24	84,28	171,4	28,57	9,81	-150,54	6,91	57,13	-207,67
285	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,90	7,74	84,41	171,4	28,57	9,81	-152,22	7,39	57,13	-209,35
286	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,76	8,25	84,54	171,4	28,57	9,81	-153,85	7,87	57,13	-210,98
287	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,61	8,75	84,68	171,4	28,57	9,81	-155,43	8,35	57,13	-212,56
288	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,45	9,24	84,83	171,4	28,57	9,81	-156,96	8,83	57,13	-214,09
289	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,29	9,74	84,99	171,4	28,57	9,81	-158,42	9,30	57,13	-215,56
290	10,00	85,70	112,00	29,91	-28,11	10,23	85,16	171,4	28,57	9,81	-159,83	9,77	57,13	-216,96
291	10,00	85,70	112,00	29,91	-27,93	10,72	85,33	171,4	28,57	9,81	-161,18	10,24	57,13	-218,31
292	10,00	85,70	112,00	29,91	-27,74	11,21	85,51	171,4	28,57	9,81	-162,45	10,70	57,13	-219,59
293	10,00	85,70	112,00	29,91	-27,54	11,69	85,70	171,4	28,57	9,81	-163,66	11,16	57,13	-220,80
294	10,00	85,70	112,00	29,91	-27,33	12,17	85,90	171,4	28,57	9,81	-164,80	11,62	57,13	-221,93
295	10,00	85,70	112,00	29,91	-27,11	12,64	86,11	171,4	28,57	9,81	-165,86	12,07	57,13	-223,00
296	10,00	85,70	112,00	29,91	-26,89	13,11	86,32	171,4	28,57	9,81	-166,85	12,52	57,13	-223,98
297	10,00	85,70	112,00	29,91	-26,65	13,58	86,55	171,4	28,57	9,81	-167,76	12,97	57,13	-224,89
298	10,00	85,70	112,00	29,91	-26,41	14,04	86,78	171,4	28,57	9,81	-168,58	13,41	57,13	-225,72
299	10,00	85,70	112,00	29,91	-26,16	14,50	87,02	171,4	28,57	9,81	-169,32	13,85	57,13	-226,46
300	10,00	85,70	112,00	29,91	-25,91	14,96	87,26	171,4	28,57	9,81	-169,98	14,28	57,13	-227,11
301	10,00	85,70	112,00	29,91	-25,64	15,41	87,51	171,4	28,57	9,81	-170,54	14,71	57,13	-227,67
302	10,00	85,70	112,00	29,91	-25,37	15,85	87,77	171,4	28,57	9,81	-171,02	15,14	57,13	-228,15
303	10,00	85,70	112,00	29,91	-25,09	16,29	88,04	171,4	28,57	9,81	-171,40	15,56	57,13	-228,53
304	10,00	85,70	112,00	29,91	-24,80	16,73	88,32	171,4	28,57	9,81	-171,68	15,97	57,13	-228,81
305	10,00	85,70	112,00	29,91	-24,50	17,16	88,60	171,4	28,57	9,81	-171,87	16,39	57,13	-229,00
306	10,00	85,70	112,00	29,91	-24,20	17,58	88,89	171,4	28,57	9,81	-171,96	16,79	57,13	-229,09
307	10,00	85,70	112,00	29,91	-23,89	18,00	89,19	171,4	28,57	9,81	-171,95	17,19	57,13	-229,08

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	10,00	85,70	112,00	29,91	-23,57	18,42	89,49	171,4	28,57	9,81	-171,83	17,59	57,13	-228,96
309	10,00	85,70	112,00	29,91	-23,25	18,83	89,80	171,4	28,57	9,81	-171,61	17,98	57,13	-228,75
310	10,00	85,70	112,00	29,91	-22,92	19,23	90,12	171,4	28,57	9,81	-171,29	18,36	57,13	-228,42
311	10,00	85,70	112,00	29,91	-22,58	19,63	90,44	171,4	28,57	9,81	-170,86	18,74	57,13	-227,99
312	10,00	85,70	112,00	29,91	-22,23	20,02	90,77	171,4	28,57	9,81	-170,32	19,11	57,13	-227,46
313	10,00	85,70	112,00	29,91	-21,88	20,40	91,11	171,4	28,57	9,81	-169,68	19,48	57,13	-226,81
314	10,00	85,70	112,00	29,91	-21,52	20,78	91,45	171,4	28,57	9,81	-168,92	19,84	57,13	-226,06
315	10,00	85,70	112,00	29,91	-21,15	21,15	91,80	171,4	28,57	9,81	-168,06	20,20	57,13	-225,19
316	10,00	85,70	112,00	29,91	-20,78	21,52	92,16	171,4	28,57	9,81	-167,09	20,55	57,13	-224,22
317	10,00	85,70	112,00	29,91	-20,40	21,88	92,52	171,4	28,57	9,81	-166,00	20,89	57,13	-223,13
318	10,00	85,70	112,00	29,91	-20,02	22,23	92,89	171,4	28,57	9,81	-164,80	21,23	57,13	-221,94
319	10,00	85,70	112,00	29,91	-19,63	22,58	93,26	171,4	28,57	9,81	-163,49	21,56	57,13	-220,63
320	10,00	85,70	112,00	29,91	-19,23	22,92	93,64	171,4	28,57	9,81	-162,07	21,88	57,13	-219,21
321	10,00	85,70	112,00	29,91	-18,83	23,25	94,02	171,4	28,57	9,81	-160,54	22,20	57,13	-217,67
322	10,00	85,70	112,00	29,91	-18,42	23,57	94,41	171,4	28,57	9,81	-158,90	22,51	57,13	-216,03
323	10,00	85,70	112,00	29,91	-18,00	23,89	94,81	171,4	28,57	9,81	-157,14	22,81	57,13	-214,28
324	10,00	85,70	112,00	29,91	-17,58	24,20	95,21	171,4	28,57	9,81	-155,28	23,11	57,13	-212,41
325	10,00	85,70	112,00	29,91	-17,16	24,50	95,61	171,4	28,57	9,81	-153,30	23,40	57,13	-210,44
326	10,00	85,70	112,00	29,91	-16,73	24,80	96,03	171,4	28,57	9,81	-151,22	23,68	57,13	-208,35
327	10,00	85,70	112,00	29,91	-16,29	25,09	96,44	171,4	28,57	9,81	-149,03	23,96	57,13	-206,16
328	10,00	85,70	112,00	29,91	-15,85	25,37	96,86	171,4	28,57	9,81	-146,73	24,23	57,13	-203,86
329	10,00	85,70	112,00	29,91	-15,41	25,64	97,29	171,4	28,57	9,81	-144,32	24,49	57,13	-201,46
330	10,00	85,70	112,00	29,91	-14,96	25,91	97,72	171,4	28,57	9,81	-141,81	24,74	57,13	-198,95
331	10,00	85,70	112,00	29,91	-14,50	26,16	98,15	171,4	28,57	9,81	-139,20	24,98	57,13	-196,33
332	10,00	85,70	112,00	29,91	-14,04	26,41	98,59	171,4	28,57	9,81	-136,48	25,22	57,13	-193,62
333	10,00	85,70	112,00	29,91	-13,58	26,65	99,03	171,4	28,57	9,81	-133,67	25,45	57,13	-190,80
334	10,00	85,70	112,00	29,91	-13,11	26,89	99,48	171,4	28,57	9,81	-130,75	25,68	57,13	-187,89
335	10,00	85,70	112,00	29,91	-12,64	27,11	99,93	171,4	28,57	9,81	-127,74	25,89	57,13	-184,88
336	10,00	85,70	112,00	29,91	-12,17	27,33	100,38	171,4	28,57	9,81	-124,64	26,10	57,13	-181,77

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	10,00	85,70	112,00	29,91	-11,69	27,54	100,84	171,4	28,57	9,81	-121,44	26,30	57,13	-178,57
338	10,00	85,70	112,00	29,91	-11,21	27,74	101,30	171,4	28,57	9,81	-118,15	26,49	57,13	-175,28
339	10,00	85,70	112,00	29,91	-10,72	27,93	101,76	171,4	28,57	9,81	-114,77	26,67	57,13	-171,91
340	10,00	85,70	112,00	29,91	-10,23	28,11	102,23	171,4	28,57	9,81	-111,31	26,84	57,13	-168,44
341	10,00	85,70	112,00	29,91	-9,74	28,29	102,70	171,4	28,57	9,81	-107,77	27,01	57,13	-164,90
342	10,00	85,70	112,00	29,91	-9,24	28,45	103,17	171,4	28,57	9,81	-104,14	27,17	57,13	-161,27
343	10,00	85,70	112,00	29,91	-8,75	28,61	103,65	171,4	28,57	9,81	-100,44	27,32	57,13	-157,57
344	10,00	85,70	112,00	29,91	-8,25	28,76	104,13	171,4	28,57	9,81	-96,66	27,46	57,13	-153,79
345	10,00	85,70	112,00	29,91	-7,74	28,90	104,61	171,4	28,57	9,81	-92,81	27,59	57,13	-149,94
346	10,00	85,70	112,00	29,91	-7,24	29,03	105,09	171,4	28,57	9,81	-88,89	27,72	57,13	-146,02
347	10,00	85,70	112,00	29,91	-6,73	29,15	105,57	171,4	28,57	9,81	-84,90	27,83	57,13	-142,04
348	10,00	85,70	112,00	29,91	-6,22	29,26	106,06	171,4	28,57	9,81	-80,85	27,94	57,13	-137,99
349	10,00	85,70	112,00	29,91	-5,71	29,37	106,55	171,4	28,57	9,81	-76,75	28,04	57,13	-133,88
350	10,00	85,70	112,00	29,91	-5,19	29,46	107,04	171,4	28,57	9,81	-72,58	28,13	57,13	-129,71
351	10,00	85,70	112,00	29,91	-4,68	29,55	107,53	171,4	28,57	9,81	-68,36	28,21	57,13	-125,50
352	10,00	85,70	112,00	29,91	-4,16	29,62	108,02	171,4	28,57	9,81	-64,09	28,29	57,13	-121,23
353	10,00	85,70	112,00	29,91	-3,65	29,69	108,52	171,4	28,57	9,81	-59,78	28,35	57,13	-116,91
354	10,00	85,70	112,00	29,91	-3,13	29,75	109,01	171,4	28,57	9,81	-55,42	28,41	57,13	-112,56
355	10,00	85,70	112,00	29,91	-2,61	29,80	109,51	171,4	28,57	9,81	-51,02	28,46	57,13	-108,16
356	10,00	85,70	112,00	29,91	-2,09	29,84	110,01	171,4	28,57	9,81	-46,59	28,50	57,13	-103,72
357	10,00	85,70	112,00	29,91	-1,57	29,87	110,50	171,4	28,57	9,81	-42,12	28,53	57,13	-99,26
358	10,00	85,70	112,00	29,91	-1,04	29,90	111,00	171,4	28,57	9,81	-37,63	28,55	57,13	-94,76
359	10,00	85,70	112,00	29,91	-0,52	29,91	111,50	171,4	28,57	9,81	-33,11	28,56	57,13	-90,24
360	10,00	85,70	112,00	29,91	0,00	29,91	112,00	171,4	28,57	9,81	-28,57	28,57	57,13	-85,70