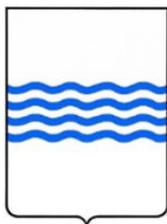


REGIONE BASILICATA



PROVINCIA DI POTENZA



COMUNI DI FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO



Denominazione impianto:

FORENZA E PALAZZO SAN GERVASIO

Ubicazione:

Comuni di Forenza (PZ) e Palazzo San Gervasio (PZ)

Foglio: vari

Particelle: varie

PROGETTO DEFINITIVO

**di un parco eolico della potenza complessiva pari a 33,6 MW,
delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro dei
comuni di Forenza (PZ), Palazzo San Gervasio (PZ), Maschito (PZ), Venosa (PZ) e
Montemilone (PZ).**

PROPONENTE



FORENZA WIND S.R.L.

Corso Italia n.27 - 39100 Bolzano (BZ)

Partita IVA: 03107070215

Indirizzo PEC: forenzawind@emsmail.it

ELABORATO

Analisi Degli Effetti Della Rottura Degli Organi Rotanti

Tav. n°

A.7

Scala

Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Febbraio 2022	Istanza per l'avvio del procedimento di rilascio del provvedimento di VIA nell'ambito del provvedimento unico in materia ambientale ai sensi dell'art.27 del D.Lgs.152/2006 e ss.mm.ii.			

PROGETTAZIONE

Dott. Ing. SAVERIO GRAMEGNA
Via Caduti di Nassiriya n. 179
70022 Altamura (BA)
Ordine degli Ingegneri di Bari n. 8443
PEC: saverio.gramegna@ingpec.eu
Cell:3286812690



progettista:

LANDSCAPE ENGINEERING
ENERGY DEVELOPMENT

IL TECNICO

Dott. Ing. SAVERIO GRAMEGNA
Via Andrea Giorgio n. 20
70022 Altamura (BA)
Ordine degli Ingegneri di Bari n. 8443
PEC: saverio.gramegna@ingpec.eu
Cell: 3286812690



Spazio riservato agli Enti

Indice generale

1. Premessa.....	2
2. Calcolo della gittata	4

1. Premessa

La tecnologia costruttiva degli aerogeneratori è alquanto sofisticata e di chiara derivazione aeronautica, per cui, la valutazione della gittata massima degli elementi di un aerogeneratore, in caso di rottura accidentale, comporta lo sviluppo di modelli di calcolo articolati e complessi.

I modelli teorici che meglio possono caratterizzare il moto nello spazio dei frammenti di pala o dell'intera pala possono essere ricondotti ai casi seguenti:

1. **Primo caso:** traiettoria a giavellotto con minore resistenza aerodinamica;
Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, in assenza di moto rotazionale intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria del frammento complanare al rotore.
2. **Secondo caso:** traiettoria a giavellotto con maggiore resistenza aerodinamica;
Calcolo della gittata massima del generico frammento di ala, sempre in assenza di moto rotazionale, intorno ad un asse qualsiasi, con traiettoria complanare al rotore e frammento ortogonale rispetto al piano del rotore.
3. **Terzo caso:** calcolo della gittata massima in presenza di moti di rotazione intorno a ciascuno dei tre assi principali del frammento stesso.

In caso di rottura, infatti, per il principio di conservazione del momento angolare, il generico spezzone di pala tende a ruotare intorno all'asse ortogonale al proprio piano; inoltre, a causa delle diverse pressioni cinetiche esercitate dal vento, lo spezzone di pala tende anche a ruotare intorno a ciascuno dei due assi principali appartenenti al proprio piano.

Le condizioni prese in considerazione nel 3° caso, permettono senza dubbio un calcolo più preciso e maggiormente corrispondente al reale moto di una pala staccatasi dal rotore per cause accidentali e forniscono, sperimentalmente, un valore di gittata di circa il 20% in meno di quella fornita dal primo caso.

Come già accennato precedentemente, la risoluzione del 3° caso è però più complessa e richiede la conoscenza di alcune caratteristiche degli aerogeneratori, non sempre fornite dai produttori, poiché oggetto di brevetto.

Si è, pertanto, deciso di utilizzare il primo caso, di facile soluzione e che fornisce un risultato maggiorato di circa il 20%, garantendo così un ulteriore margine di sicurezza.

GEOMETRIA DEL PROBLEMA E CALCOLO DELLA GITTATA (1° caso)

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

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= 0 \\ \ddot{y} &= -g\end{aligned}$$

Dove $g = 9.82 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

La legge del moto che costituisce soluzione di queste equazioni è:

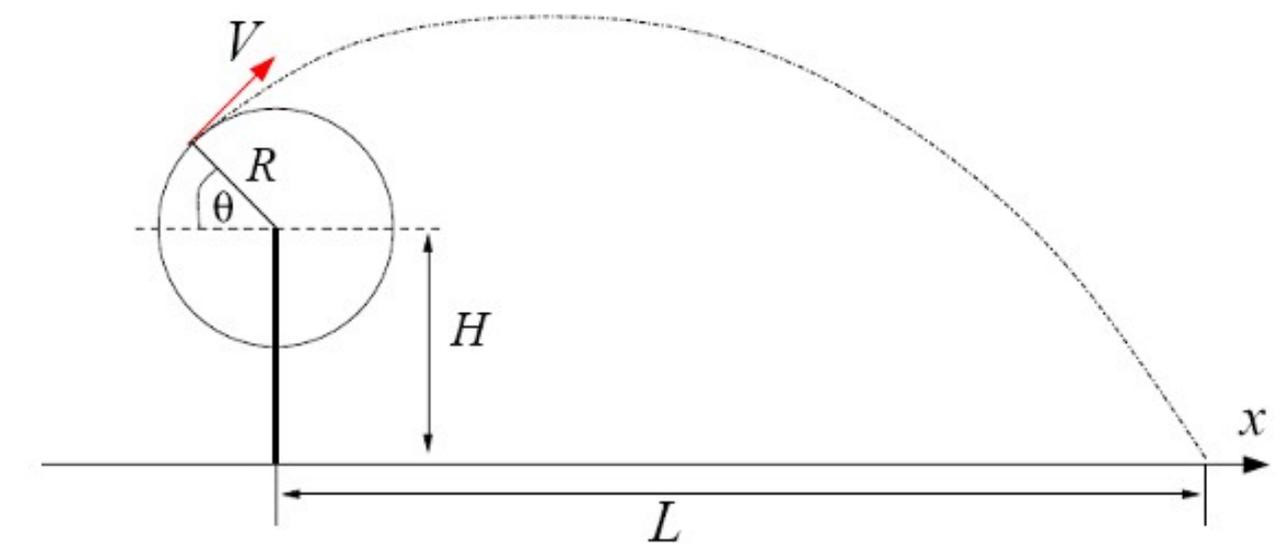
$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

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, scartando la soluzione con tempi negativi, si ottiene:

$$T = \frac{v_y}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v_y^2 + 2y_0g}$$

GEOMETRIA DEL PROBLEMA E CALCOLO DELLA GITTATA



La posizione e la velocità iniziale sono determinate dall'angolo θ e dalla velocità iniziale V del frammento di pala al momento del distacco. Esse sono legate alla posizione ed alla velocità iniziale dalle relazioni:

$$\begin{aligned} x_0 &= -R \cos(\theta) \\ y_0 &= H + R \sin(\theta) \\ v_x &= V \sin(\theta) \\ v_y &= V \cos(\theta) \end{aligned}$$

La gittata L è la distanza dal palo del punto di impatto al suolo del frammento di pala.

Dalla legge del moto si ottiene:

Sostituendo l'espressione per T ricavato sopra, si ricava la gittata L in funzione di V e di θ :

$$L = x(T)$$

$$L = \frac{V \sin(\theta)}{g} \left[V \cos(\theta) + \sqrt{V^2 \cos^2(\theta) + 2(H + R \sin(\theta))g} \right] - R \cos(\theta)$$

2. Calcolo della gittata

Come già precedentemente indicato, il calcolo della gittata massima richiede la conoscenza dei valori:

H (altezza del mozzo),

R (distanza dal mozzo del baricentro del frammento staccatosi dal rotore)

V (velocità di distacco del frammento di pala).

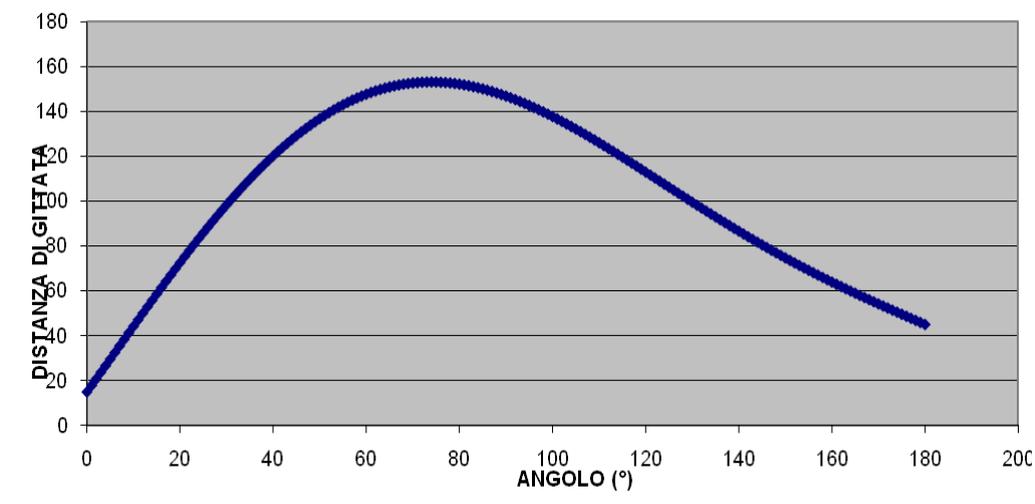
I valori di H e R sono rispettivamente $H=80$ m e $R=45,15/3$ m e per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

$$V = 2 \times \pi \times R \times \text{rpm} / 60.$$

Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari 15,0 quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando $R=15,05$ m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di circa 23,62 m/s nel baricentro della pala.

Nella tabella seguente si riporta il grafico con l'andamento della distanza della gittata massima al variare dell'angolo di rottura.

DISTANZA DI GITTATA AL VARIARE DELL'ANGOLO



Dall'andamento del grafico si assume quindi che la gittata massima è pari a 180 mt ~ **180,00 mt.** Nell'arco della suddetta distanza non ci sono recettori sensibili. **Si chiarisce che l'aerogeneratore è dotato di sensori che riducono la rotazione dello stesso al superamento di determinati valori di velocità del vento e bloccano completamente la macchina in caso di rottura delle pale.** Per quanto sopra specificato la gittata dell'aerogeneratore in caso di rottura accidentale potrebbe essere assunta uguale a zero.

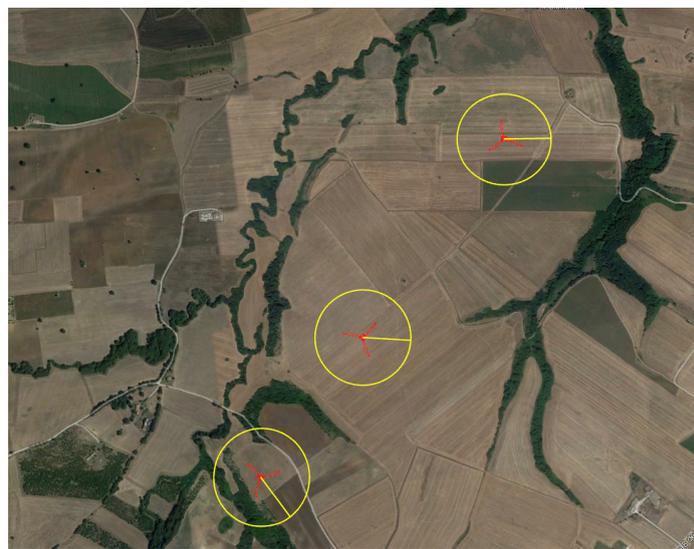
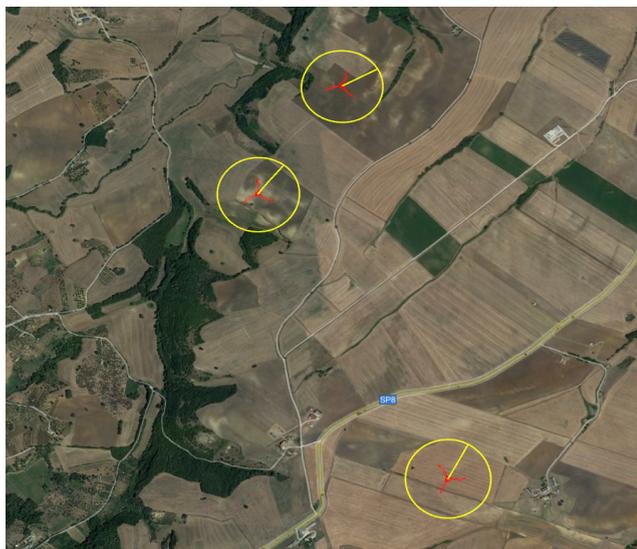
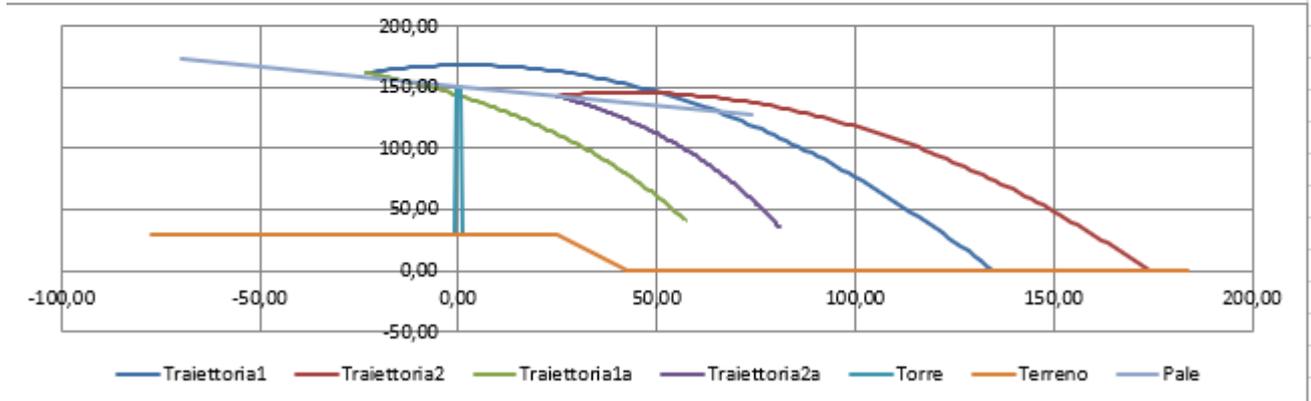
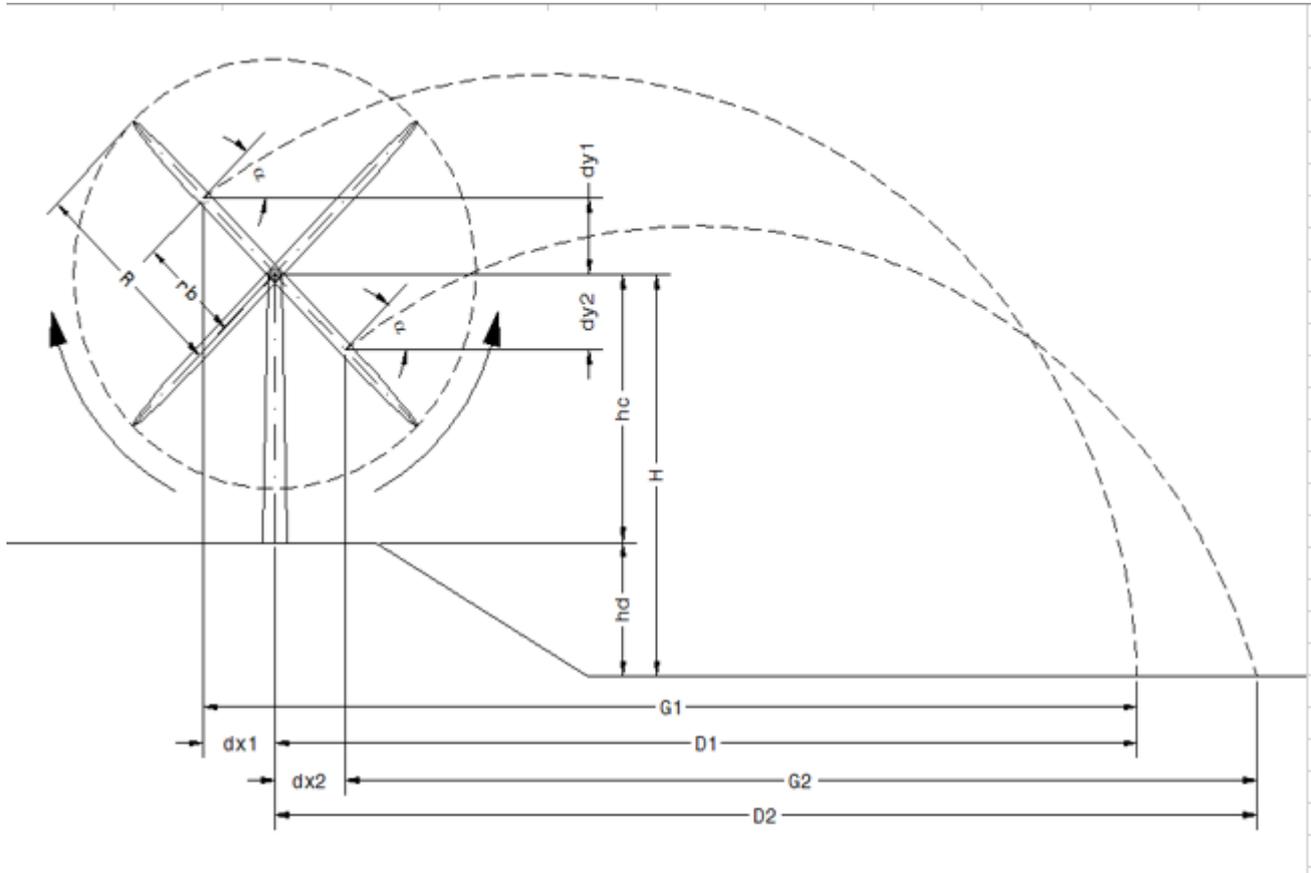


Fig. 1

Si allegano calcoli software



g	V. pale	R	rb	hc	hd	CALCOLA ANGOLI PER GITTATA MASSIMA				CALCOLA GITTATA CON ATTRITO VISCOSO		
[m/s ²]	[giri/min]	[m]	[m]	[m]	[m]					H + rb	D (SIA)	Gamma
9,81	9,31	77,50	25,83	120,50	30,00					[m]	[m]	[Adim]
										176,33	150,99	0,170

Vo	H											
[m/s]	[m]											
25,18	150,50											

α	Vox	Voy	dx1	dy1	H1	t1	G1	D1		t1	D1
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]		[s]	[m]
26,04	22,63	11,06	23,21	11,34	161,84	6,98	157,94	134,74		4,25	43,54

α	Vox	Voy	dx2	dy2	H2	t2	G2	D2		t2	D2
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]		[s]	[m]
17,06	24,07	7,39	24,69	7,58	142,92	6,20	149,34	174,04		3,87	55,79

t1	x1	y1	t2	x2	y2	t1	x1	y1	t2	x2	y2	X	Y
[s]	[m]	[m]	[m]	[m]									
0,00	-23,21	161,84	0,00	24,69	142,92	0,00	-23,21	161,84	0,00	24,69	142,92	0,00	30,00
0,07	-21,63	162,59	0,06	26,19	143,36	0,04	-22,08	161,13	0,04	25,46	142,26	-1,00	30,00
0,14	-20,05	163,29	0,12	27,68	143,76	0,09	-20,96	160,42	0,08	26,22	141,59	-0,50	150,50
0,21	-18,47	163,94	0,19	29,17	144,13	0,13	-19,86	159,68	0,12	26,98	140,91	0,50	150,50
0,28	-16,89	164,54	0,25	30,67	144,45	0,17	-18,75	158,94	0,15	27,73	140,22	1,00	30,00
0,35	-15,31	165,10	0,31	32,16	144,74	0,21	-17,66	158,19	0,19	28,48	139,52	1,00	30,00
0,42	-13,73	165,61	0,37	33,65	144,99	0,26	-16,58	157,42	0,23	29,22	138,81	0,00	0,00
0,49	-12,15	166,07	0,43	35,15	145,21	0,30	-15,50	156,64	0,27	29,96	138,09	0,00	0,00
0,56	-10,57	166,48	0,50	36,64	145,38	0,34	-14,43	155,85	0,31	30,69	137,36	0,00	0,00
0,63	-8,99	166,85	0,56	38,13	145,52	0,38	-13,37	155,04	0,35	31,42	136,62	-77,50	30,00
0,70	-7,41	167,17	0,62	39,63	145,62	0,43	-12,31	154,23	0,39	32,14	135,87	24,69	30,00
0,77	-5,83	167,44	0,68	41,12	145,68	0,47	-11,26	153,40	0,43	32,86	135,11	42,69	0,00
0,84	-4,25	167,66	0,74	42,61	145,70	0,51	-10,22	152,56	0,46	33,57	134,34	184,04	0,00
0,91	-2,68	167,83	0,81	44,11	145,69	0,55	-9,19	151,71	0,50	34,28	133,56		
0,98	-1,10	167,96	0,87	45,60	145,64	0,60	-8,17	150,84	0,54	34,98	132,77		
1,05	0,48	168,04	0,93	47,10	145,55	0,64	-7,15	149,97	0,58	35,68	131,98		
1,12	2,06	168,07	0,99	48,59	145,42	0,68	-6,14	149,08	0,62	36,38	131,17	0,00	150,50
1,19	3,64	168,05	1,05	50,08	145,26	0,72	-5,14	148,19	0,66	37,07	130,35	-69,63	173,23
1,26	5,22	167,99	1,12	51,58	145,06	0,77	-4,14	147,28	0,70	37,75	129,53		
1,33	6,80	167,87	1,18	53,07	144,82	0,81	-3,15	146,36	0,74	38,43	128,69	0,00	150,50
1,40	8,38	167,71	1,24	54,56	144,54	0,85	-2,17	145,43	0,77	39,11	127,85	74,09	127,77
1,47	9,96	167,51	1,30	56,06	144,22	0,89	-1,20	144,49	0,81	39,78	126,99		
1,54	11,54	167,25	1,36	57,55	143,87	0,94	-0,23	143,54	0,85	40,45	126,13		
1,61	13,12	166,95	1,43	59,04	143,48	0,98	0,73	142,58	0,89	41,11	125,26		
1,68	14,70	166,59	1,49	60,54	143,05	1,02	1,68	141,60	0,93	41,77	124,38		
1,75	16,28	166,19	1,55	62,03	142,58	1,06	2,63	140,62	0,97	42,43	123,49		
1,81	17,86	165,75	1,61	63,52	142,08	1,11	3,57	139,62	1,01	43,08	122,59		
1,88	19,44	165,25	1,67	65,02	141,54	1,15	4,50	138,62	1,04	43,72	121,68		
1,95	21,02	164,71	1,74	66,51	140,96	1,19	5,42	137,60	1,08	44,36	120,77		
2,02	22,60	164,12	1,80	68,00	140,34	1,23	6,34	136,58	1,12	45,00	119,84		
2,09	24,18	163,48	1,86	69,50	139,68	1,28	7,26	135,54	1,16	45,64	118,91		
2,16	25,75	162,79	1,92	70,99	138,99	1,32	8,16	134,49	1,20	46,27	117,97		
2,23	27,33	162,06	1,99	72,48	138,26	1,36	9,06	133,44	1,24	46,89	117,02		
2,30	28,91	161,28	2,05	73,98	137,49	1,40	9,96	132,37	1,28	47,51	116,06		
2,37	30,49	160,45	2,11	75,47	136,68	1,45	10,84	131,29	1,32	48,13	115,09		
2,44	32,07	159,57	2,17	76,96	135,84	1,49	11,72	130,21	1,35	48,74	114,12		
2,51	33,65	158,65	2,23	78,46	134,96	1,53	12,60	129,11	1,39	49,35	113,14		
2,58	35,23	157,67	2,30	79,95	134,04	1,57	13,46	128,01	1,43	49,96	112,14		
2,65	36,81	156,65	2,36	81,44	133,08	1,62	14,33	126,89	1,47	50,56	111,14		
2,72	38,39	155,58	2,42	82,94	132,09	1,66	15,18	125,76	1,51	51,15	110,14		
2,79	39,97	154,47	2,48	84,43	131,05	1,70	16,03	124,63	1,55	51,75	109,12		
2,86	41,55	153,30	2,54	85,92	129,98	1,74	16,87	123,48	1,59	52,34	108,10		
2,93	43,13	152,09	2,61	87,42	128,87	1,79	17,71	122,33	1,63	52,92	107,07		
3,00	44,71	150,83	2,67	88,91	127,73	1,83	18,54	121,17	1,66	53,50	106,03		
3,07	46,29	149,52	2,73	90,40	126,54	1,87	19,37	119,99	1,70	54,08	104,98		
3,14	47,87	148,17	2,79	91,90	125,32	1,91	20,18	118,81	1,74	54,65	103,92		
3,21	49,45	146,76	2,85	93,39	124,06	1,96	21,00	117,62	1,78	55,23	102,86		
3,28	51,03	145,31	2,92	94,88	122,77	2,00	21,80	116,42	1,82	55,79	101,79		
3,35	52,61	143,81	2,98	96,38	121,43	2,04	22,61	115,21	1,86	56,35	100,71		
3,42	54,18	142,27	3,04	97,87	120,05	2,08	23,40	113,99	1,90	56,91	99,63		

3,49	55,76	140,67	3,10	99,37	118,65	2,13	24,19	112,77	1,93	57,47	98,53
3,56	57,34	139,03	3,16	100,86	117,20	2,17	24,98	111,53	1,97	58,02	97,43
3,63	58,92	137,34	3,23	102,35	115,71	2,21	25,75	110,29	2,01	58,57	96,33
3,70	60,50	135,60	3,29	103,85	114,19	2,25	26,53	109,03	2,05	59,11	95,21
3,77	62,08	133,82	3,35	105,34	112,63	2,30	27,29	107,77	2,09	59,65	94,09
3,84	63,66	131,98	3,41	106,83	111,03	2,34	28,06	106,50	2,13	60,19	92,96
3,91	65,24	130,10	3,47	108,33	109,39	2,38	28,81	105,22	2,17	60,73	91,82
3,98	66,82	128,17	3,54	109,82	107,72	2,42	29,56	103,94	2,21	61,26	90,68
4,05	68,40	126,20	3,60	111,31	106,01	2,47	30,31	102,64	2,24	61,78	89,52
4,12	69,98	124,17	3,66	112,81	104,26	2,51	31,05	101,34	2,28	62,31	88,36
4,19	71,56	122,10	3,72	114,30	102,47	2,55	31,78	100,02	2,32	62,83	87,20
4,26	73,14	119,98	3,78	115,79	100,64	2,59	32,51	98,70	2,36	63,34	86,03
4,33	74,72	117,81	3,85	117,29	98,78	2,64	33,24	97,37	2,40	63,86	84,85
4,40	76,30	115,59	3,91	118,78	96,88	2,68	33,96	96,04	2,44	64,37	83,66
4,47	77,88	113,33	3,97	120,27	94,94	2,72	34,67	94,69	2,48	64,87	82,47
4,54	79,46	111,02	4,03	121,77	92,96	2,76	35,38	93,34	2,52	65,38	81,27
4,61	81,04	108,66	4,09	123,26	90,95	2,81	36,08	91,98	2,55	65,88	80,06
4,68	82,61	106,25	4,16	124,75	88,90	2,85	36,78	90,61	2,59	66,37	78,85
4,75	84,19	103,80	4,22	126,25	86,81	2,89	37,47	89,23	2,63	66,87	77,62
4,82	85,77	101,30	4,28	127,74	84,68	2,93	38,16	87,85	2,67	67,36	76,40
4,89	87,35	98,74	4,34	129,23	82,51	2,98	38,85	86,46	2,71	67,84	75,16
4,96	88,93	96,15	4,40	130,73	80,31	3,02	39,53	85,06	2,75	68,33	73,92
5,03	90,51	93,50	4,47	132,22	78,07	3,06	40,20	83,65	2,79	68,81	72,68
5,10	92,09	90,81	4,53	133,71	75,79	3,10	40,87	82,24	2,83	69,29	71,42
5,17	93,67	88,06	4,59	135,21	73,47	3,15	41,53	80,81	2,86	69,76	70,16
5,24	95,25	85,27	4,65	136,70	71,12	3,19	42,19	79,38	2,90	70,23	68,90
5,31	96,83	82,44	4,71	138,19	68,73	3,23	42,85	77,95	2,94	70,70	67,63
5,38	98,41	79,55	4,78	139,69	66,30	3,27	43,50	76,50	2,98	71,16	66,35
5,44	99,99	76,62	4,84	141,18	63,83	3,32	44,14	75,05	3,02	71,63	65,06
5,51	101,57	73,64	4,90	142,67	61,33	3,36	44,78	73,59	3,06	72,08	63,77
5,58	103,15	70,61	4,96	144,17	58,78	3,40	45,42	72,13	3,10	72,54	62,47
5,65	104,73	67,53	5,02	145,66	56,20	3,44	46,05	70,65	3,13	72,99	61,17
5,72	106,31	64,41	5,09	147,16	53,59	3,49	46,68	69,17	3,17	73,44	59,86
5,79	107,89	61,24	5,15	148,65	50,93	3,53	47,30	67,69	3,21	73,89	58,54
5,86	109,47	58,02	5,21	150,14	48,24	3,57	47,92	66,19	3,25	74,33	57,22
5,93	111,04	54,75	5,27	151,64	45,50	3,61	48,53	64,69	3,29	74,78	55,89
6,00	112,62	51,43	5,33	153,13	42,73	3,66	49,14	63,18	3,33	75,21	54,56
6,07	114,20	48,07	5,40	154,62	39,93	3,70	49,74	61,67	3,37	75,65	53,22
6,14	115,78	44,66	5,46	156,12	37,08	3,74	50,34	60,15	3,41	76,08	51,88
6,21	117,36	41,20	5,52	157,61	34,20	3,78	50,94	58,62	3,44	76,51	50,53
6,28	118,94	37,70	5,58	159,10	31,28	3,83	51,53	57,09	3,48	76,94	49,17
6,35	120,52	34,14	5,64	160,60	28,32	3,87	52,12	55,54	3,52	77,36	47,81
6,42	122,10	30,54	5,71	162,09	25,33	3,91	52,70	54,00	3,56	77,78	46,44
6,49	123,68	26,89	5,77	163,58	22,29	3,95	53,28	52,44	3,60	78,20	45,06
6,56	125,26	23,19	5,83	165,08	19,22	4,00	53,85	50,88	3,64	78,62	43,68
6,63	126,84	19,45	5,89	166,57	16,11	4,04	54,42	49,31	3,68	79,03	42,30
6,70	128,42	15,65	5,96	168,06	12,96	4,08	54,99	47,74	3,72	79,44	40,91
6,77	130,00	11,81	6,02	169,56	9,78	4,12	55,55	46,16	3,75	79,85	39,51
6,84	131,58	7,92	6,08	171,05	6,56	4,17	56,11	44,57	3,79	80,25	38,11
6,91	133,16	3,98	6,14	172,54	3,30	4,21	56,67	42,98	3,83	80,66	36,70
6,98	134,74	0,00	6,20	174,04	0,00	4,25	57,22	41,38	3,87	81,06	35,29

CONCLUSIONI

Da quanto si desume dallo studio effettuato, che restituisce un raggio massimo di gittata pari a 150mt visibile in grafica (Fig. 1), nessun viabilità oppure struttura viene interessata dall'eventuale Rottura degli Organi Rotanti. Fatta eccezione per la WTG 4 e la WTG 6 che interessano in modo marginale e trascurabile una viabilità interpodereale che non costituisce alcuna problematica per la costruzione e l'esercizio dell'impianto.

Il Tecnico

Dott. Ing. Saverio Gramegna

