

**REGIONE PUGLIA****PROVINCIA DI BARI****COMUNE DI ALTAMURA**

Denominazione impianto:

**LA MARINELLA**

Ubicazione:

**Comune di Altamura (BA)**  
**Località "La Marinella"**

Foglio: 256 / 238 / 242 / 243 / 246

Particelle: varie

**PROGETTO DEFINITIVO**

di un Parco Eolico composto da n. 5 aerogeneratori di potenza nominale pari a 6,6 MW, di potenza complessiva pari a 33 MW da ubicarsi in agro del comune di Altamura (BA) località "La Marinella", delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili da ubicarsi in agro del comune di Matera (MT).

PROPONENTE


**LA MARINELLA S.r.l.**  
 VIA ANDREA GIORGIO n.20  
 ALTAMURA (BA) - 70022  
 P.IVA 08533880723  
 PEC: [parcomarinella@pec.it](mailto:parcomarinella@pec.it)
**Codice Autorizzazione Unica Y1RLLJ0**

ELABORATO

**Analisi degli Effetti della Rottura degli Organi Rotanti**

Tav. n°

**A.7**

Scala

Aggiornamenti	Numero	Data	Motivo	Eseguito	Verificato	Approvato
	Rev 0	Aprile 2022	Istanza VIA art.23 D.Lgs 152/06 – Istanza Autorizzazione Unica art.12 D.Lgs 387/03			

IL PROGETTISTA

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](mailto:saverio.gramegna@ingpec.eu)  
 Cell: 3286812690

progettista:  
  
 LANDSCAPE ENGINEERING  
 ENERGY DEVELOPMENT



IL TECNICO

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](mailto: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:

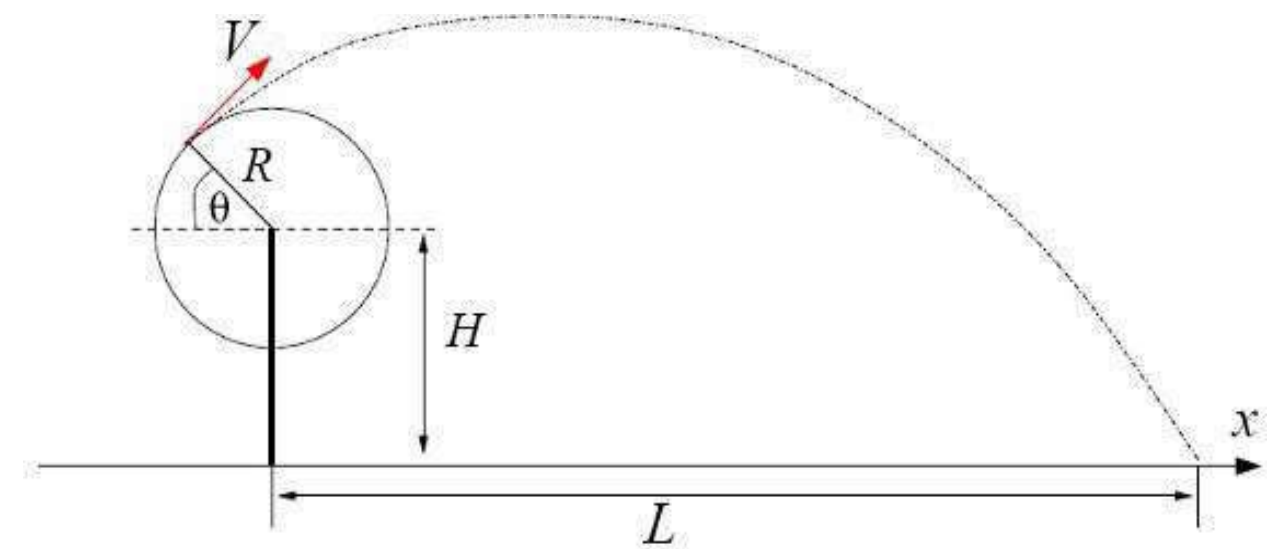
$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + v_x t \\ y(t) &= y_0 + v_y t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

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  $\theta$  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  $\theta$ :

$$L = x(T)$$

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

## 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).

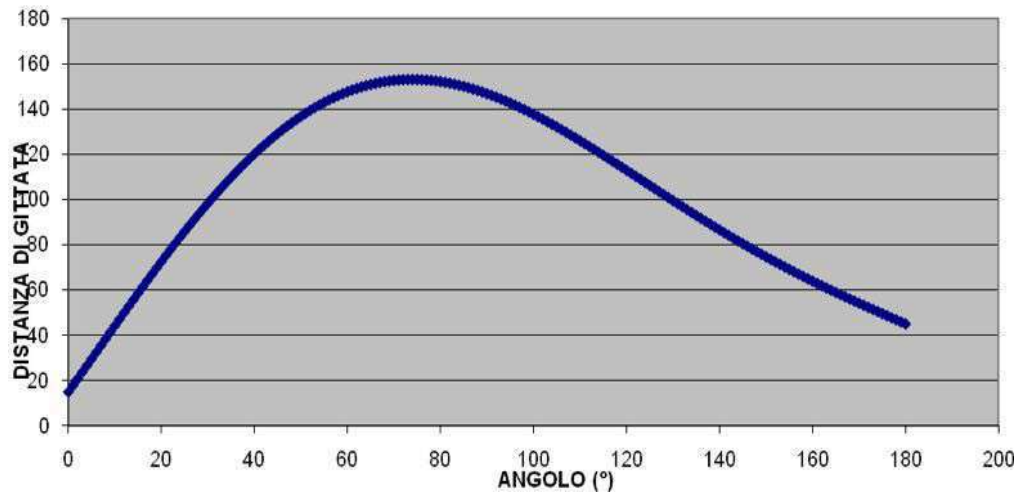
I valori di H e R sono rispettivamente H=80 m e R=45,15/3 m e per il calcolo della velocità di distacco del frammento di pala si ricorre alla seguente formula:

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

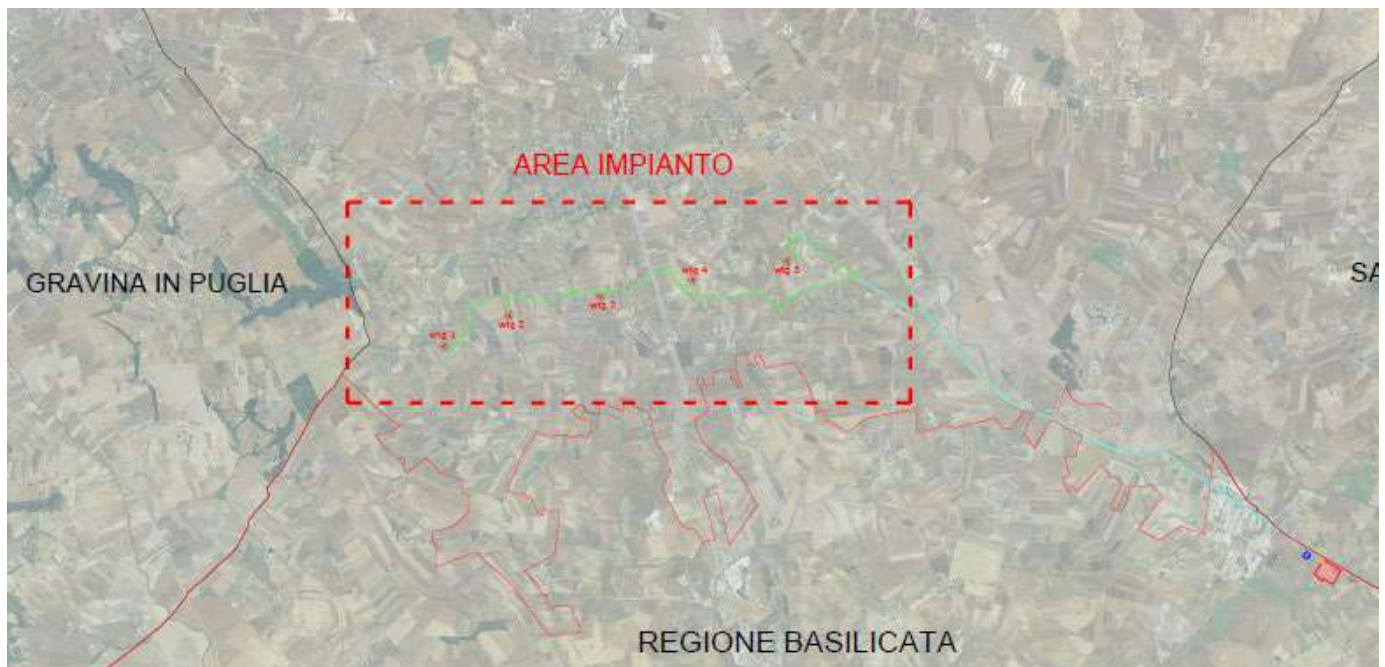
Il massimo numero di giri per minuto che l'aerogeneratore compie è pari 15,0 quindi supponendo che la rottura della pala avvenga vicino al mozzo e considerando R=15,05 m (lunghezza pala/3), si ottiene una velocità di distacco di circa 23,62 m/s nel baricentro della pala.

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

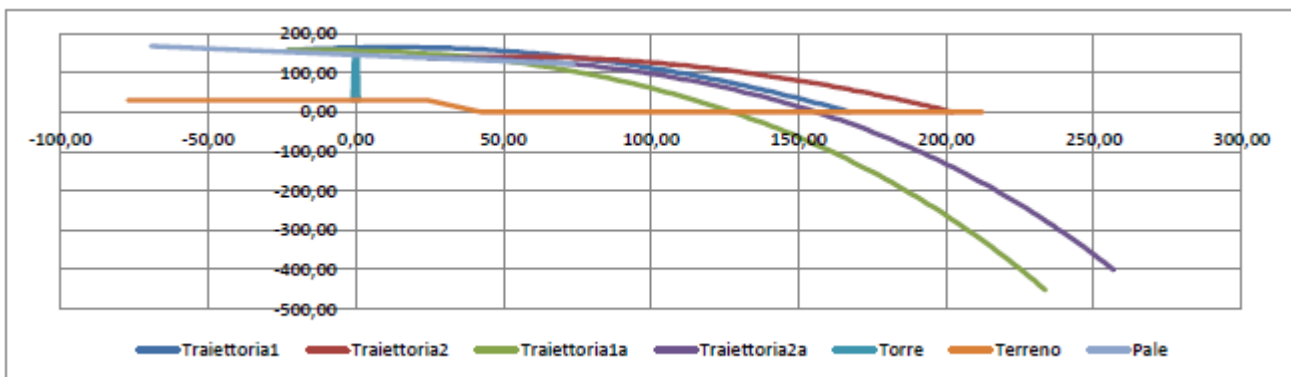
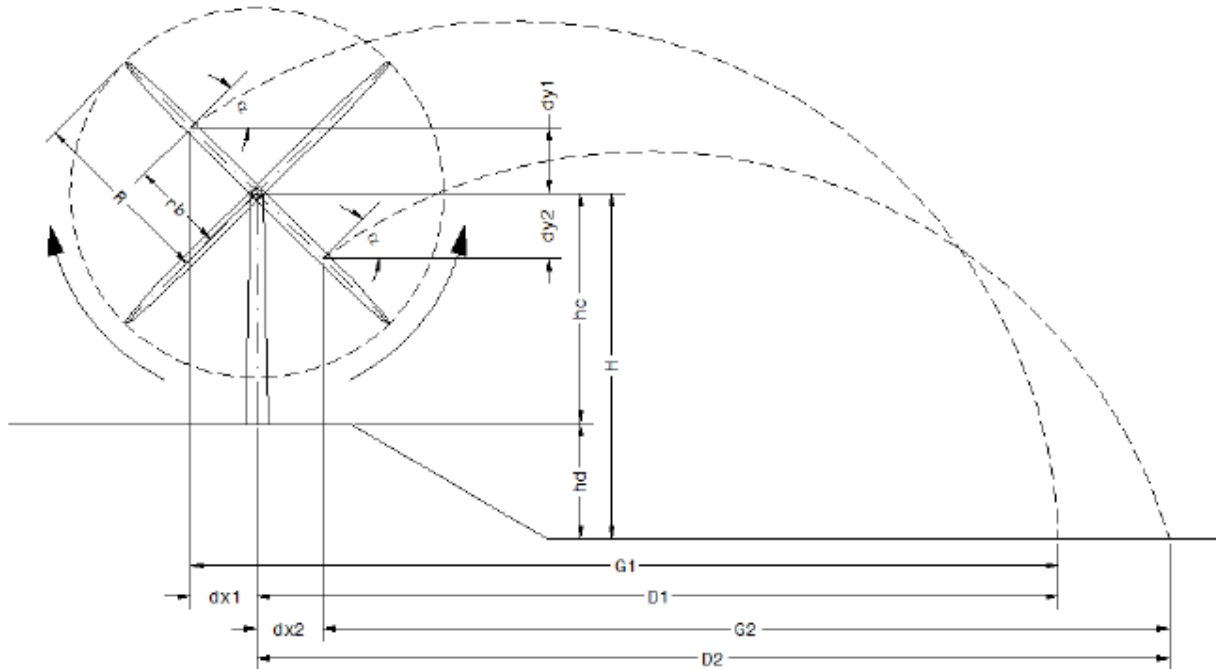
DISTANZA DI GITTATA AL VARIARE DELL'ANGOLO



Dall'andamento del grafico si assume quindi che la gittata massima è pari a 153,34 mt ~ **153,00 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.**



Si allegano calcoli software



g	V. pale	R	rb	hc	hd
[m/s <sup>2</sup> ]	[giri/min]	[m]	[m]	[m]	[m]
90,00	11,00	77,00	25,66	115,00	30,00

CALCOLA ANGOLI  
 PER GITTATA MASSIMA

CALCOLA GITTATA CON  
 ATTRITO VISCOSO

Vo	H
[m/s]	[m]
90,00	145,00

H + rb	D (SIA)
[m]	[m]
170,66	175,27

Gamma
[Adim]
0,170

$\alpha$	Vox	Voy	dx1	dy1	H1	t1	G1	D1
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
26,04	80,86	39,51	23,06	11,26	156,26	2,35	190,31	167,26

t1	D1
[s]	[m]
4,25	43,54

$\alpha$	Vox	Voy	dx2	dy2	H2	t2	G2	D2
[°]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[s]	[m]	[m]
17,06	86,04	26,40	24,53	7,53	137,47	2,07	177,73	202,26

t2	D2
[s]	[m]
3,87	55,79

Il tecnico:  
 dott.Ing. Saverio GRAMEGNA

Il Committente:  
 La Marinella

t1	x1	y1
[s]	[m]	[m]
0,00	-23,06	156,26
0,02	-21,15	157,17
0,05	-19,25	158,03
0,07	-17,35	158,83
0,09	-15,44	159,59
0,12	-13,54	160,29
0,14	-11,64	160,95
0,16	-9,73	161,55
0,19	-7,83	162,11
0,21	-5,93	162,61
0,24	-4,02	163,07
0,26	-2,12	163,48
0,28	-0,22	163,83
0,31	1,69	164,14
0,33	3,59	164,40
0,35	5,49	164,61
0,38	7,39	164,76
0,40	9,30	164,87
0,42	11,20	164,93
0,45	13,10	164,93
0,47	15,01	164,89
0,49	16,91	164,80
0,52	18,81	164,66
0,54	20,72	164,47
0,56	22,62	164,23
0,59	24,52	163,93
0,61	26,43	163,59
0,64	28,33	163,20
0,66	30,23	162,76
0,68	32,14	162,27
0,71	34,04	161,73
0,73	35,94	161,14
0,75	37,84	160,50
0,78	39,75	159,81
0,80	41,65	159,07
0,82	43,55	158,28
0,85	45,46	157,44
0,87	47,36	156,55
0,89	49,26	155,61
0,92	51,17	154,62
0,94	53,07	153,58

t2	x2	y2
[s]	[m]	[m]
0,00	24,53	137,47
0,02	26,31	138,00
0,04	28,09	138,49
0,06	29,86	138,94
0,08	31,64	139,35
0,10	33,42	139,72
0,12	35,19	140,05
0,14	36,97	140,35
0,17	38,75	140,61
0,19	40,53	140,83
0,21	42,30	141,01
0,23	44,08	141,15
0,25	45,86	141,25
0,27	47,64	141,32
0,29	49,41	141,34
0,31	51,19	141,33
0,33	52,97	141,28
0,35	54,74	141,19
0,37	56,52	141,07
0,39	58,30	140,90
0,41	60,08	140,70
0,43	61,85	140,46
0,45	63,63	140,18
0,48	65,41	139,86
0,50	67,19	139,50
0,52	68,96	139,11
0,54	70,74	138,67
0,56	72,52	138,20
0,58	74,30	137,69
0,60	76,07	137,14
0,62	77,85	136,55
0,64	79,63	135,93
0,66	81,40	135,26
0,68	83,18	134,56
0,70	84,96	133,82
0,72	86,74	133,04
0,74	88,51	132,22
0,76	90,29	131,36
0,78	92,07	130,47
0,81	93,85	129,54
0,83	95,62	128,57



0,96	54,97	152,49		0,85	97,40	127,56
0,99	56,88	151,35		0,87	99,18	126,51
1,01	58,78	150,16		0,89	100,95	125,42
1,04	60,68	148,92		0,91	102,73	124,30
1,06	62,59	147,64		0,93	104,51	123,13
1,08	64,49	146,30		0,95	106,29	121,93
1,11	66,39	144,91		0,97	108,06	120,69
1,13	68,29	143,47		0,99	109,84	119,41
1,15	70,20	141,98		1,01	111,62	118,09
1,18	72,10	140,45		1,03	113,40	116,74
1,20	74,00	138,86		1,05	115,17	115,34
1,22	75,91	137,22		1,07	116,95	113,91
1,25	77,81	135,53		1,09	118,73	112,44
1,27	79,71	133,80		1,12	120,50	110,93
1,29	81,62	132,01		1,14	122,28	109,38
1,32	83,52	130,17		1,16	124,06	107,80
1,34	85,42	128,29		1,18	125,84	106,17
1,37	87,33	126,35		1,20	127,61	104,51
1,39	89,23	124,36		1,22	129,39	102,81
1,41	91,13	122,33		1,24	131,17	101,07
1,44	93,04	120,24		1,26	132,95	99,29
1,46	94,94	118,10		1,28	134,72	97,48
1,48	96,84	115,92		1,30	136,50	95,62
1,51	98,74	113,68		1,32	138,28	93,73
1,53	100,65	111,40		1,34	140,05	91,80
1,55	102,55	109,06		1,36	141,83	89,83
1,58	104,45	106,68		1,38	143,61	87,82
1,60	106,36	104,24		1,40	145,39	85,77
1,62	108,26	101,76		1,43	147,16	83,69
1,65	110,16	99,22		1,45	148,94	81,56
1,67	112,07	96,64		1,47	150,72	79,40
1,69	113,97	94,00		1,49	152,50	77,20
1,72	115,87	91,32		1,51	154,27	74,96
1,74	117,78	88,59		1,53	156,05	72,69
1,77	119,68	85,80		1,55	157,83	70,37
1,79	121,58	82,97		1,57	159,60	68,02
1,81	123,49	80,08		1,59	161,38	65,62
1,84	125,39	77,15		1,61	163,16	63,19
1,86	127,29	74,17		1,63	164,94	60,72
1,88	129,19	71,13		1,65	166,71	58,22
1,91	131,10	68,05		1,67	168,49	55,67
1,93	133,00	64,92		1,69	170,27	53,09
1,95	134,90	61,73		1,71	172,05	50,46
1,98	136,81	58,50		1,74	173,82	47,80
2,00	138,71	55,22		1,76	175,60	45,10

2,02	140,61	51,89	1,78	177,38	42,36
2,05	142,52	48,51	1,80	179,15	39,59
2,07	144,42	45,07	1,82	180,93	36,77
2,09	146,32	41,59	1,84	182,71	33,92
2,12	148,23	38,06	1,86	184,49	31,03
2,14	150,13	34,48	1,88	186,26	28,10
2,17	152,03	30,85	1,90	188,04	25,13
2,19	153,94	27,16	1,92	189,82	22,12
2,21	155,84	23,43	1,94	191,60	19,08
2,24	157,74	19,65	1,96	193,37	15,99
2,26	159,64	15,82	1,98	195,15	12,87
2,28	161,55	11,94	2,00	196,93	9,71
2,31	163,45	8,01	2,02	198,70	6,51
2,33	165,35	4,03	2,04	200,48	3,28
2,35	167,26	0,00	2,07	202,26	0,00

Il Tecnico  
Dott. Ing. Saverio Gramegna

