

**REGIONE PUGLIA**  
PROVINCIA DI FOGGIA  
**COMUNE DI APRICENA**

*LOCALITÀ INCORONATA - SAN SABINO*

Oggetto:

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO EOLICO AVENTE POTENZA PARI A 99,2 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 16 AEROGENERATORI**

Sezione:

**SEZIONE A - RELAZIONI GENERALI**

Elaborato:

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA**

Nome file sorgente:

**SEZIONE A/EO.APR01.PD.A.12.docx**

Numero elaborato:

**EO.APR01.PD.A.12**

Scala:

Formato di stampa:

**A4**

Nome file stampa:

**EO.APR01.PD.A.12.pdf**

Tipologia:

**R**

Proponente:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



Progettista:

**E-WAY FINANCE S.p.A.**

Via Po, 23

00198 ROMA (RM)

P.IVA. 15773121007



CODICE	REV. n.	DATA REV.	REDAZIONE	VERIFICA	VALIDAZIONE
EO.APR01.PD.A.12	00	12/2021	L.D'Elia	A.Bottone	A.Bottone



## INDICE

---

<b>2</b>	<b><i>PREMESSA</i></b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b><i>RIFERIMENTI NORMATIVI</i></b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b><i>IPOTESI DI CALCOLO</i></b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b><i>ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI: CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA</i></b> .....	<b>10</b>
5.1	Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 0° e 90° .....	10
5.2	Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 270° e 360°.....	12
5.3	Risultati.....	13
<b>6</b>	<b><i>CONCLUSIONI</i></b> .....	<b>15</b>

## INDICE DELLE FIGURE

---

<i>Figura 1 - Schema della gittata per angolo compreso tra 0° e 90° .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2- Schema della gittata per angolo compreso tra 270° e 360° .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.01) .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.02) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.03) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.04) .....</i>	<i>17</i>



## RELAZIONE DI CALCOLO DELLA GITTATA

CODICE	EO.APR01.PD.A.12
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	12/2021
PAGINA	4 di 17

### INDICE DELLE TABELLE

---

<i>Tabella 1 - Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto .....</i>	<i>9</i>
---	----------



**RELAZIONE DI CALCOLO DELLA  
GITTATA**

CODICE	EO.APR01.PD.A.12
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	12/2021
PAGINA	5 di 17

## 2 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, ed opere di connessione annesse, denominato "Incoronata - San Sabino", sito in agro di Apricena (FG).

In particolare, il progetto è relativo ad un impianto eolico avente potenza nominale pari a 99,2 MW e costituito da:

1. N° 16 aerogeneratori aventi diametro 162 m e altezza al mozzo pari a 119 m (per un'altezza complessiva di 200 m), ciascuno avente potenza nominale pari a 6,2 MW (aerogeneratore tipo modello Vestas V162);
2. Due Cabine di Raccolta e Misura in MT a 30 kV;
3. Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione di 6 aerogeneratori alla prima Cabina di Raccolta e Misura;
4. Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione di 10 aerogeneratori alla seconda Cabina di Raccolta e Misura;
5. Una Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 150/30 kV Utente;
6. Linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessari per l'interconnessione delle due Cabine di Raccolta e Misura alla SE Utente di cui sopra;
7. Una sezione di impianto elettrico comune con due impianti fotovoltaico in sviluppo (altro operatore), necessaria per la condivisione dello Stallo AT a 150 kV, assegnato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) all'interno della futura SE della RTN denominata "Torremaggiore". Tale sezione è localizzata in una zona adiacente alla SE Utente e contiene tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie per la condivisione della connessione.
8. Tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT di competenza dell'Utente da installare all'interno della futura SE Terna "Torremaggiore", in corrispondenza dello stallo assegnato;
9. Una linea elettrica in AT a 150 kV in cavo interrato di interconnessione tra la sezione di impianto comune e la futura SE RTN "Torremaggiore".

Titolare dell'iniziativa proposta è la società E-Way Finance S.p.A., avente sede legale in Via Po 23, 00198 Roma, P.IVA 15773121007.



**RELAZIONE DI CALCOLO DELLA  
GITTATA**

CODICE	EO.APR01.PD.A.12
REVISIONE n.	00
DATA REVISIONE	12/2021
PAGINA	7 di 17

La relazione ha lo scopo verificare e calcolare la gittata massima di una pala di un aerogeneratore nell'ipotesi di distacco della stessa, così come indicato dal punto 7, Allegato 4 del D.Lgs 152/2006. Le condizioni al contorno considerate per il calcolo in esame, sono le più gravose possibili, in modo da porsi nella situazione maggiormente cautelativa.

### 3 RIFERIMENTI NORMATIVI

---

Si riportano di seguito i riferimenti normativi utilizzati per la redazione della seguente relazione:

- *Allegato 4, DLgs 152/2006, Testo Unico in materia ambientale.* In particolare al punto 7.1 “Analisi dei possibili incidenti” indica che andrebbe valutata la gittata massima in caso di rottura accidentale. La stessa inoltre suggerisce alcune possibili misure di mitigazione: “la distanza di ogni turbina eolica da una strada provinciale o nazionale deve essere superiore all’altezza massima dell’elica comprensiva del rotore e comunque non inferiore a 150 m dalla base della torre” (*punto 7.2, lett. a) Misure di mitigazione*).
- *Decreto Dirigenziale del 12 febbraio 2021, avente come oggetto il Decreto del Ministero dello sviluppo economico 10 settembre 2010 - Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili - Allegato 4 - punto 7 "Studio sulla gittata massima degli elementi rotanti nel caso di rottura accidentale"* per gli impianti di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica.

## 4 IPOTESI DI CALCOLO

Le condizioni al contorno considerate per il calcolo sono le più gravose possibili in modo da giungere a risultati sicuramente cautelativi. Il calcolo della gittata massima è stato effettuato inoltre NON considerando una riduzione massima della velocità periferica per effetto d'attrito dell'aria, senza ridurre la velocità angolare.

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

- Il moto del sistema considerato è quello di un sistema rigido non vincolato (modello che approssima la pala nel momento del distacco);
- Il calcolo della gittata è stato determinato per diversi valori dell'angolo  $\theta$ ;
- La velocità massima del rotore sarà limitata elettronicamente.

I dati geometrici e cinematici sui quali è basato il calcolo sono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 1 - Caratteristiche degli aerogeneratori di progetto**

Altezza mozzo H	119 m
Diametro rotore D	162 m
Giri <sub>max</sub> al minuto	12.1 rpm

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

- alla velocità massima del rotore, pari a circa 12,6 giri/minuto;
- nel punto di ascissa e ordinata in cui la gittata è massima;
- con il centro di massa posizionato ad 1/3 della lunghezza della pala, in prossimità del mozzo.

## 5 ROTTURA DEGLI ORGANI ROTANTI: CALCOLO DELLA GITTATA MASSIMA

Il calcolo della gittata è in funzione dell'angolo di inclinazione della pala rispetto all'orizzontale, in senso orario e ponendo l'angolo di  $0^\circ$  fra il  $3^\circ$  ed il  $4^\circ$  quadrante.

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

$$Mg = Ma_G$$

$$0 = I \frac{d\omega}{dt}$$

Supponendo di concentrare tutto il peso nel centro di massa della pala, il momento della forza peso è nullo, avendo scelto G come polo per il calcolo dei momenti. Pertanto la seconda equazione ci dice che il corpo durante la traiettoria che percorre, si mette a girare indisturbato intorno al suo asse principale di inerzia. La soluzione al problema ci viene allora dalla risoluzione della prima equazione. Questa ci evidenzia che la pala si muoverà con il moto di un proiettile puntiforme, pertanto ne compirà il caratteristico moto parabolico. Per calcolare l'equazione della traiettoria, bisogna proiettare le caratteristiche dinamiche sui tre assi, integrarle tenendo conto delle condizioni iniziali (velocità del baricentro al momento del distacco) e giungere al valore della gittata espresso dalla seguente formula:

$$G = \frac{vx_0 (vy_0 \sqrt{vy_0^2 + 2gHG})}{g} \pm xg$$

### 5.1 Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra $0^\circ$ e $90^\circ$

I parametri necessari per il calcolo della gittata nel I quadrante saranno:

- baricentro (**rg**), pari ad  $1/3$  della lunghezza della pala più raggio mozzo:

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

- proiezione del baricentro sull'asse verticale (**Hg**):

$$Hg = H_{torre} + Yg$$

dove  $Yg = rg \sin \alpha$ .

- Posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre:

$$xg = rg \cos \alpha$$

- Velocità periferica che rappresenta la velocità di un punto situato sulla periferia di un corpo in movimento circolare. Nel moto circolare uniforme (approssimazione utilizzata per la descrizione in esame) essa è direttamente proporzionale al raggio e al numero di giri al secondo. Si avrà dunque:

$$vx_0 = vx \cos(90 - \alpha) = v x \sin \alpha$$

$$vy_0 = vy \sin(90 - \alpha) = v y \cos \alpha$$

dove  $v_0 = \omega rg = (2\pi nr g)/60$ .

$$G = \frac{vx_0 (vy_0 \sqrt{vy_0^2 + 2gHG})}{g} - xg$$

Supponendo di prendere in considerazione sempre l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro (la punta) verso l'esterno, sommando a  $G_{\max}$  per ogni tipo di aerogeneratore rispettivamente i due 2/3 della pala, si ottiene:

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

Dove  $Lg = L - (\frac{L}{3})$ .

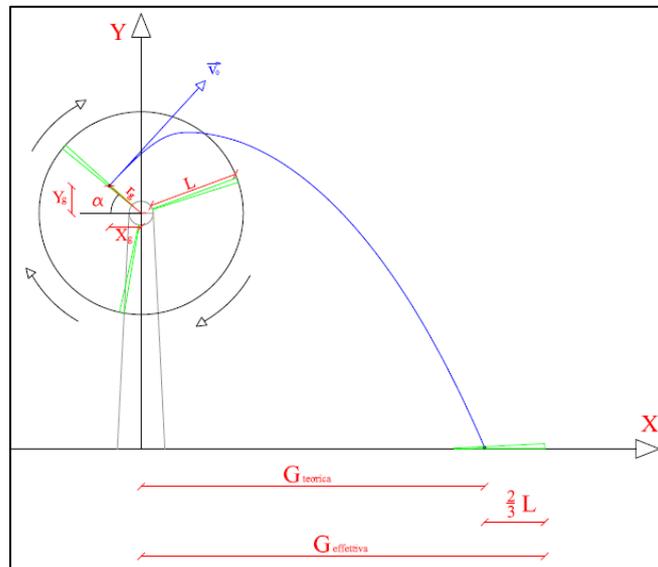


Figura 1 - Schema della gittata per angolo compreso tra 0° e 90°.

## 5.2 Calcolo della gittata massima per angolo compreso tra 270° e 360°

Avendo posto l'angolo 0° tra il 3° ed il 4° quadrante, il segno di  $v_{x0}$  e di  $x_g$ :

- baricentro ( $rg$ ), pari ad  $1/3$  della lunghezza della pala più raggio mozzo:

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

- proiezione del baricentro sull'asse verticale ( $Hg$ ):

$$Hg = H_{torr} - Yg$$

dove  $Yg = rg \sin(360 - \alpha)$ .

- Posizione del baricentro della pala rispetto all'asse della torre

$$xg = -rg \cos \alpha$$

- Velocità periferica che rappresenta la velocità di un punto situato sulla periferia di un corpo in movimento circolare. Nel moto circolare uniforme (approssimazione utilizzata per la descrizione in esame) essa è direttamente proporzionale al raggio e al numero di giri al secondo. Si avrà dunque:

$$v_{x0} = v_0 \sin \alpha$$

$$v_{y0} = v_0 \cos \alpha$$

dove  $v_0 = \omega r g = (2\pi n r g)/60$ .

$$G = \frac{vx_0 (vy_0 \sqrt{vy_0^2 + 2 g HG})}{g} + xg$$

Supponendo di prendere in considerazione sempre l'ipotesi più pericolosa, ossia quella in cui la pala cadendo si disponga con la parte più lontana dal baricentro (la punta) verso l'esterno, sommando a  $G_{max}$  per ogni tipo di aerogeneratore rispettivamente i due  $2/3$  della pala, si ottiene:

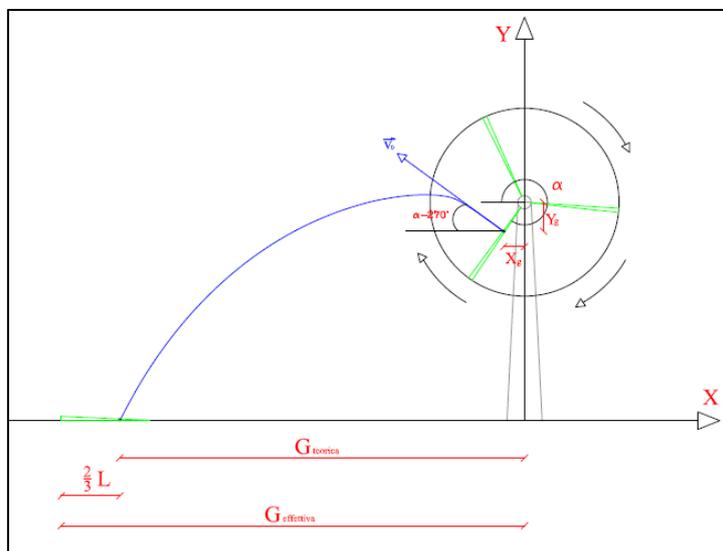


Figura 2- Schema della gittata per angolo compreso tra 270° e 360°

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

Dove  $Lg = L - (\frac{L}{3})$ .

### 5.3 Risultati

Eseguendo i calcoli in modo iterativo, al variare dell'angolo  $\alpha$ , si ottiene che:

I valori massimi di gittata si ottengono in corrispondenza di  $\alpha$  pari 65° per il quale si ottiene un valore di gittata pari a 261,96 m, che verrà approssimato a 262 m. Tale valore rappresenta il punto più distante di caduta della pala. È comunque presumibile che il valore reale, ossia quello calcolato tenendo conto della resistenza dell'aria sia inferiore. Per ulteriori approfondimenti si riporta di seguito la tabella di calcolo completa.

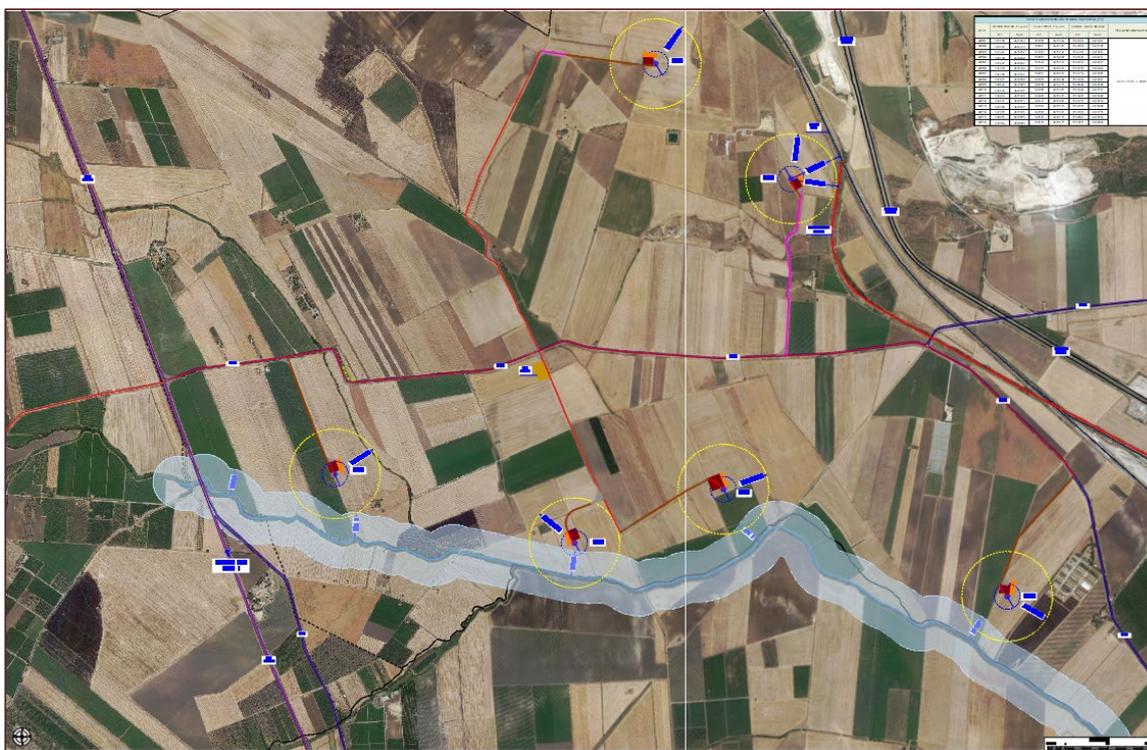
Angolo	Radianti	sen	coseno	Gmax
0,00	0,00	0,00	1,00	27,00
5,00	0,09	0,09	1,00	55,53
10,00	0,17	0,17	0,98	83,91
15,00	0,26	0,26	0,97	111,57
20,00	0,35	0,34	0,94	137,95
25,00	0,44	0,42	0,91	162,57
30,00	0,52	0,50	0,87	184,99
35,00	0,61	0,57	0,82	204,86
40,00	0,70	0,64	0,77	221,91
45,00	0,79	0,71	0,71	235,96
50,00	0,87	0,77	0,64	246,94
55,00	0,96	0,82	0,57	254,86
60,00	1,05	0,87	0,50	259,80
65,00	1,13	0,91	0,42	<b>261,96</b>
70,00	1,22	0,94	0,34	261,56
75,00	1,31	0,97	0,26	258,90
80,00	1,40	0,98	0,17	254,29
85,00	1,48	1,00	0,09	248,07
90,00	1,57	1,00	0,00	240,56
95,00	1,66	1,00	-0,09	232,08
100,00	1,75	0,98	-0,17	222,90
105,00	1,83	0,97	-0,26	213,28
110,00	1,92	0,94	-0,34	203,41
115,00	2,01	0,91	-0,42	193,47
120,00	2,09	0,87	-0,50	183,58
125,00	2,18	0,82	-0,57	173,82
130,00	2,27	0,77	-0,64	164,27
135,00	2,36	0,71	-0,71	154,96
140,00	2,44	0,64	-0,77	145,90
145,00	2,53	0,57	-0,82	137,09
150,00	2,62	0,50	-0,87	128,53
155,00	2,71	0,42	-0,91	120,21
160,00	2,79	0,34	-0,94	112,08
165,00	2,88	0,26	-0,97	104,13
170,00	2,97	0,17	-0,98	96,33
175,00	3,05	0,09	-1,00	88,63
180,00	3,14	0,00	-1,00	81,00

## 6 CONCLUSIONI

Dai calcoli eseguiti si evince che nelle condizioni più gravose il vertice della pala del rotore può raggiungere una distanza di circa 262 m dalla base di ogni aerogeneratore. Come si evince dalle figure seguenti, in un intorno di ampiezza pari a quello della gittata dalle pale di progetto non ricadono strade principali (Rif. *EO.APR01.RD.SIA.01*, *EO.APR01.RD.SIA.02*, *EO.APR01.RD.SIA.03*, *EO.APR01.RD.SIA.04*).

Le turbine AP04, AP06, AP11, AP14 ed AP16 intercettano dei fabbricati all'intero del buffer pari al valore di gittata: dall'analisi dei recettori ne deriva che questi non vengono classificati come recettori sensibili in quanto appartengono a categorie catastali diverse da quelle classificati come abitazioni o luoghi frequentati da recettori sensibili.

In conclusione la possibilità che il distacco accidentale di una pala possa arrecare danni alla salute pubblica è da considerarsi NULLA.



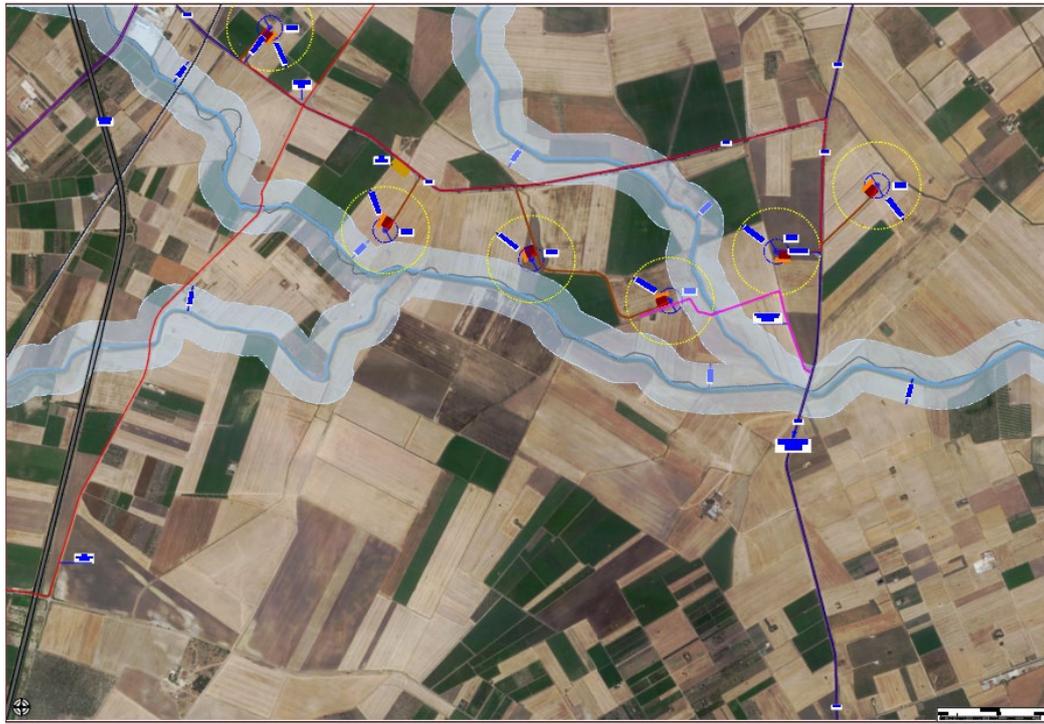
**Figura 3- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.01)**



**Figura 4- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.02)**



**Figura 5- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri (EO.APR01.RD.SIA.03)**



**Figura 6- Stralcio elaborato di analisi delle distanze con indicazione della gittata massima pari a 262 metri  
(EO.APR01.RD.SIA.04)**