



CITTA' METROPOLITANA  
DI CAMPOBASSO



REGIONE MOLISE



COMUNE di  
COLLETORTO



COMUNE di  
SAN GIULIANO

# PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEI COMUNI DI COLLETORTO E SAN GIULIANO DI PUGLIA, CON OPERE DI CONNESSIONE IN SANTA CROCE DI MAGLIANO E ROTELLO



|               |   |                         |                     |             |                       |
|---------------|---|-------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Proponente    |  <p><b>GRV Wind Molise 1 S.r.l.</b><br/>via Durini, 9 - 20122 Milano<br/>info@grvalue.com</p>     |                         |                     |             |                       |
| Progettazione |  <p><b>Viale Michelangelo, 71</b><br/><b>80129 Napoli</b><br/><b>TEL.081 579 7998</b><br/><b>mail: tecnico.inse@gmail.com</b></p> <p><b>Amm. Francesco Di Maso</b><br/>Ing. Nicola Galdiero<br/>Ing. Pasquale Esposito</p> <p>Collaboratori:<br/>Geol. V. Ferriovolino<br/>Dott. A. Ianiro<br/>Ing. V. Triunfo<br/>Ing. G. D'Abbrunzo<br/>Arch. C. Gaudiero<br/>Geom. F. Malafarina<br/>Arch. M. Mauro</p> |                         |                     |             |                       |
| Elaborato     | <p>Nome Elaborato:</p> <p style="text-align: center;"><b>STUDIO EVOLUZIONE DELLE OMBRE<br/>(SHADOW FLICKERING)</b></p>  |                         |                     |             |                       |
|               |   |                         |                     |             |                       |
| 00            | 15-12-2021  | PRIMA EMISSIONE         | INSE Srl            | INSE Srl    | GRV Wind Molise 1 srl |
| Rev.          | Data  | Oggetto della revisione | Elaborazione        | Verifica    | Approvazione          |
| Scala:        | --  |                         |                     |             |                       |
| Formato:      | <b>A4</b>   |                         | Codice Pratica      | <b>S239</b> | Codice Elaborato      |
|               |   |                         | <b>AS239-SI07-R</b> |             |                       |

## Sommario

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE ALLO SHADOW FLICKERING .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>PRINCIPALI PARAMETRI RICHIESTI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING E SOFTWARE<br/>UTILIZZATI .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>ASPETTI NORMATIVI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>MODELLO CALCOLO DEGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING DEL PARCO EOLICO .....</b>                             | <b>5</b>  |
| <b>5</b> | <b>INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI SENSIBILI.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>6</b> | <b>RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E CONCLUSIONI.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSIONI.....</b>  | <b>11</b> |

|  |  |                    |         |
|--|--|--------------------|---------|
| <b>GRV Wind Molise 1 S.r.l.</b><br> | <b>STUDIO EVOLUZIONE DELLE OMBRE<br/>SHADOW FLICKERING</b> | Cod. AS239-SI11-R  |         |
|  |  | Data<br>15/12/2021 | Rev. 00 |

## 1 INTRODUZIONE ALLO SHADOW FLICKERING

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l'espressione comunemente impegnata per descrivere l'effetto stroboscopico causato dal passaggio delle pale di una o più turbine eoliche attraverso i raggi del sole rispetto a recettori sensibili posti nelle loro immediate vicinanze. Il periodico cambiamento dell'intensità della luce in prossimità dei recettori sensibili deve essere calcolato in modo da determinare il potenziale periodo di ombreggiamento generato dalle turbine. Il fenomeno generato si traduce in una variazione alternativa dell'intensità luminosa, che a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni, in seguito recettori, le cui finestre risultino esposte al fenomeno.

L'effetto sugli individui è simile a quello che si sperimenterebbe in seguito alle variazioni di intensità luminosa di una lampada ad incandescenza a causa di continui sbalzi della tensione della rete di alimentazione elettrica, in particolare le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2.5Hz ed i 20Hz (Verkuijlen and Westra,1984). A tal proposito è utile sottolineare, che i più recenti aerogeneratori tripala operano con una velocità di rotazione inferiore ai 35giri al minuto (rpm), corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.7 Hz, quindi minore della frequenza critica dei 2.5Hz.

**Nella fattispecie i generatori utilizzati raggiungono una velocità di rotazione massima di 8,5 rpm quindi ampiamente inferiore di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.**

La lunghezza dell'ombra, generata dal passaggio delle pale attraverso i raggi del sole, dipende non solo dall'altitudine, ma dalla posizione del sole.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno dalle abitazioni, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestre rivolte verso le ombre. L'intensità del fenomeno, è definita come la differenza di luminosità che si percepisce in presenza ed in assenza di flickering in una data posizione.

In generale si può affermare che:

- Avendo le pale una forma rastremata con spessore che cresce verso il mozzo, il fenomeno risulterà tanto più intenso quanto maggiore sarà la porzione di disco solare coperta dalla pala stessa e quanto minore la distanza dal recettore.
- L'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale.
- Maggiori distanze tra generatore e ricettore determinano ombre meno nette, in tal caso l'effetto risulterà meno intenso e distinto.
- La presenza di schermature locali (come alberi interposti tra il recettore e la sorgente d'ombra) favorisce una diminuzione dell'effetto.

Il calcolo del potenziale periodo di ombreggiamento consiste nel determinare, attraverso software specifici, le ore di intermittenza annue cui ciascun recettore è sottoposto. Queste informazioni possono essere utilizzate per progettare e gestire la centrale eolica in modo da ridurre al minimo il disturbo causato alle persone.

Le condizioni per cui si formi l'ombra, e il recettore sia interessato da quest'ultima sono mostrate in Figura 1. Da questa figura si evince che, affinché il recettore sia interessato dall'ombra, si necessita che quest'ultimo abbia una finestra in direzione del campo eolico, il sole sia relativamente basso nel cielo e soprattutto lo stesso si trovi posizionato a valle dell'asse sole turbina.

L'analisi dello studio dell'ombreggiamento dei parchi eolici ha lo scopo di ridurre al minimo il disturbo causato dalle turbine ai recettori sensibili e consente di fornire al controller delle turbine o allo SCADA system la data e le ore in cui lo shadow flicker si manifesta così da poter, in casi particolarmente disagiati, fermare le turbine durante l'acutizzarsi del fenomeno.



|   |  |                    |         |
|---|--|--------------------|---------|
| GRV Wind Molise 1 S.r.l.<br> | <b>STUDIO EVOLUZIONE DELLE OMBRE<br/>SHADOW FLICKERING</b> | Cod. AS239-SI11-R  |         |
|   |  | Data<br>15/12/2021 | Rev. 00 |

## 2 PRINCIPALI PARAMETRI RICHIESTI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING E SOFTWARE UTILIZZATI

I pacchetti software impegnati per la progettazione di un parco eolico contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering. I parametri principali richiesti dai modelli di calcolo per la determinazione degli effetti dovuti allo shadow -flickering del parco eolico sono:

1. La posizione delle turbine (coordinate x, y, z);
2. L'altezza al mozzo e il diametro del rotore della turbina scelta;
3. La posizione dei recettori sensibili (coordinate x, y, z);
4. Le dimensioni delle finestre dei recettori ed il loro orientamento;
5. L'orientamento rispetto al sud e l'angolo di tilt delle finestre dei recettori;
6. La posizione geografica (latitudine e longitudine), il fuso orario e l'ora legale della zona di interesse;
7. Un modello di simulazione contenente informazioni riguardo l'orbita della terra e la rotazione rispetto al sole;
8. Statistica di probabilità mensile di presenza del sole;
9. Un modello digitale del terreno;
10. L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento;
11. La distanza massima di estensione dell'ombra dietro la turbina;
12. Percentuale di copertura del sole dalla pala;
13. Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento;
14. Scelta della rappresentazione del sole come "punto" o come "disco";

Questi parametri vengono usati per determinare l'accuratezza del calcolo e/o per specificare alcune restrizioni ai calcoli nel caso dei parametri relativi ai recettori.

I software utilizzati per il calcolo dello shadow -flickering possono essere svariati.

Per questo studio viene considerato il software WindFarm Release 5. Questo software, tramite il modulo "*shadow flickering*", consente di creare mappe per l'intermittenza dell'ombra e di analizzare l'intermittenza in punti specifici (recettori) attraverso la generazione di isolinee.

La procedura di calcolo dell'intermittenza dell'ombra impostata come *predefinita*, assume che il sole possa essere approssimato come un punto. E' possibile selezionare l'opzione per modellare il sole come un disco. Questo caso peggiorativo, porta ad un numero di eventi di intermittenza d'ombra più alto, specialmente vicino alle turbine.

Nel presente studio verrà analizzato per primo il **worst-case** (il caso peggiore) impostando tutti i parametri del software su tale condizione. Il caso peggiore si ottiene considerando innanzitutto assimilando **il rotore** ad una vera e propria sfera con un off-set tra asse e rotore, **il sole** come disco e con l'asse del rotore allineato col sole e col punto recettore. Statisticamente questa potrebbe non essere la migliore rappresentazione della realtà, in quanto la distribuzione del vento, nei diversi settori della rosa dei venti, fa sì che il rotore non sia sempre orientato in corrispondenza dei recettori e soprattutto non sia sempre in movimento. Tali aspetti ci posizionano in un caso ideale di massima sicurezza ma comunque mai verificabile date le variazioni costanti della direzione del vento e le variazioni di velocità e calma della turbina nell'arco di una singola giornata ed ora.

### 3 ASPETTI NORMATIVI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING

Il presente documento si riferisce al progetto di un parco eolico nel Comune di Colletorto e San Giuliano di Puglia nel territorio della Regione Molise, in provincia di Benevento. La normativa Regionale in materia di calcolo dell'ombreggiamento provocato da turbine eoliche risulta essere estremamente carente, anche la normativa nazionale presenta le stesse lacune.

Pertanto, affinché sia possibile effettuare uno studio dello Shadow-Flickering abbastanza preciso, la normativa italiana dovrebbe fornire i seguenti parametri principali:

- L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento;
- La distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina;
- Percentuale di copertura del sole dalla pala;
- Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento;
- Limiti accettabili di ombreggiamento annuale.

Sulla base di quanto descritto, si evidenzia la carenza della Normativa Italiana e, nel caso in esame, per la definizione dei parametri necessari al calcolo dell'ombreggiamento. Pertanto, si utilizzerà un criterio quantitativo basato sulla determinazione di percentuali di ombreggiamento rispetto alle ore giornaliere e di luce nell'arco annuale.

Il presente studio prenderà in considerazione il lay-out dell'impianto con turbine di nuova generazione con diametro da 170 m ed un'altezza al mozzo di 115m per un'altezza complessiva di 200 metri.

Di seguito si riportano le coordinate in WGS-84 dei singoli aerogeneratori:

| <b>TURBINE</b> | <b>EST</b> | <b>OVEST</b> |
|----------------|------------|--------------|
| COL 01         | 499841,80  | 4614788,10   |
| COL 02         | 500925,89  | 4614345,37   |
| COL 03         | 501017,12  | 4613606,82   |
| COL 04         | 501777,10  | 4612840,75   |
| COL 05         | 501899,28  | 4613486,47   |
| COL 06         | 502453,78  | 4613087,52   |
| COL 07         | 503033,00  | 4613412,00   |

Tabella 1 – Coordinate in WGS-84 degli aerogeneratori

Pertanto, per lo studio dell'effetto di ombreggiamento si utilizzeranno i parametri definiti nel prossimo capitolo, che oltretutto, come spiegato successivamente in dettaglio, risultano essere tra i più restrittivi che si possano considerare.

### 4 MODELLO CALCOLO DEGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING DEL PARCO EOLICO

L'analisi si basa sull'impegno di un modello digitale del terreno per la simulazione dell'orografia del suolo.

I parametri utilizzati per il calcolo e inseriti nel software sono:

1. Angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento = 3°
2. Distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina = 1,5km.
3. Percentuale di copertura minima del sole dalla pala = 20%

4. Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento = 1 minuto
5. Statistica di probabilità mensile di presenza di sole dedotta (descritta in seguito)
6. Curve di livello
7. Modello delle turbine

In relazione al punto 1 il valore di 3° è stato desunto da bibliografia e risulta anche essere il parametro di default impostato dal software. Si usa in genere questo valore poiché per angoli inferiori la luce, dovendo passare attraverso uno strato di atmosfera più spesso, diventa molto diffusa e non riesce quindi a formare un'ombra. Il parametro risulta molto restrittivo ai fini del calcolo.

In relazione al punto 2 la scelta di considerare un valore di 1500m, come da bibliografia, riportano che ad una distanza massima di 1,5 Km, in piano, gli effetti dell'ombreggiamento risultano trascurabili. Questa scelta arbitraria è stata fatta sulla base del fatto che non è ancora stabilito dalla normativa quale sia la distanza massima dalla turbina a cui si risente ancora dell'ombreggiamento.

La scelta di considerare 1,5 Km in questo calcolo è stata effettuata per poterci inserire nel caso peggiorativo, come ampiamente sottolineato nei capitoli precedenti.

In relazione al punto 3 il valore assunto risulta essere un valore restrittivo ai fini del calcolo, nonché parametro di default settato dal software.

In relazione al punto 4 l'intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento risulta essere per tutte le linee guida di 1 minuto e quindi è stato assunto, anche in questo caso, come tale.

In relazione al punto 5 la statistica di probabilità mensile di presenza del sole è stata dedotta da una stazione meteorologica nei pressi del sito in cui sono state misurate le ore mensili di soleggiamento (tabella sottostante) da cui sono state dedotte le probabilità mensili di soleggiamento qui di seguito riportate:

| Mesi      | Valori medi mensili delle ore giornaliere di soleggiamento (ore/giorno) | Ore di soleggiamento mensili | Ore totali mensili | % di soleggiamento mensile |
|-----------|---|------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Gennaio   | 3,9   | 117                          | 720                | 16,25                      |
| Febbraio  | 4,4   | 132                          | 720                | 18,33                      |
| Marzo     | 5,3   | 159                          | 720                | 22,08                      |
| Aprile    | 6,7   | 201                          | 720                | 27,92                      |
| Maggio    | 8,6   | 258                          | 720                | 35,83                      |
| Giugno    | 9,9   | 297                          | 720                | 41,25                      |
| Luglio    | 10,8  | 324                          | 720                | 45,00                      |
| Agosto    | 9,8   | 294                          | 720                | 40,83                      |
| Settembre | 8   | 240                          | 720                | 33,33                      |
| Ottobre   | 6,2   | 186                          | 720                | 25,83                      |
| Novembre  | 4,4   | 132                          | 720                | 18,33                      |
| Dicembre  | 3,6   | 108                          | 720                | 15,00                      |

Tabella 2 - Ore di soleggiamento mensile

|  |  |                    |         |
|--|--|--------------------|---------|
| <b>GRV Wind Molise 1 S.r.l.</b><br> | <b>STUDIO EVOLUZIONE DELLE OMBRE<br/>SHADOW FLICKERING</b> | Cod. AS239-SI11-R  |         |
|  |  | Data<br>15/12/2021 | Rev. 00 |

Il calcolo dell'ombreggiamento è stato fatto utilizzando le condizioni al contorno semplificate, che comportano una situazione quanto più peggiorativa possibile rispetto al caso reale (Worst-case), in particolare:

- Il cielo è considerato sempre chiaro e limpido e quindi non si considerano nubi, nebbia o qualsiasi ostacolo;
- Le turbine sono sempre in rotazione;
- Il rotore delle turbine è sempre orientato in direzione del recettore;
- Non sono considerati eventuali ostacoli come alberi o palazzi;
- Asse del rotore allineato con il sole.

Inoltre, per la simulazione, ogni singolo recettore viene considerato in modalità "green house", cioè come se tutte le pareti esterne fossero esposte al fenomeno, senza considerare la presenza di finestre e/o porte dalle quali l'effetto arriva realmente all'interno dell'abitazione. I calcoli effettuati per l'ombreggiamento rappresentano un approccio molto conservativo e di conseguenza peggiorativo, per questo denominato "**worst case**", in cui la situazione reale risulterà ben al di sotto dei risultati ottenuti.

Successivamente sono stati individuati i ricettori sensibili che interferiscono con le isolinee di ombreggiamento e sono state calcolate le ore di ombreggiamento sulle finestre delle pareti esposte al fenomeno.

## 5 INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI SENSIBILI

Ai fini della previsione degli impatti indotti dell'impianto in oggetto sono stati individuati i "recettori sensibili" nelle immediate vicinanze del parco eolico che possono essere soggetti a tale fenomeno. Tali ricettori rappresentano abitazioni e fabbricati definiti come tali dalle visure catastali.

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei 60 recettori individuati:

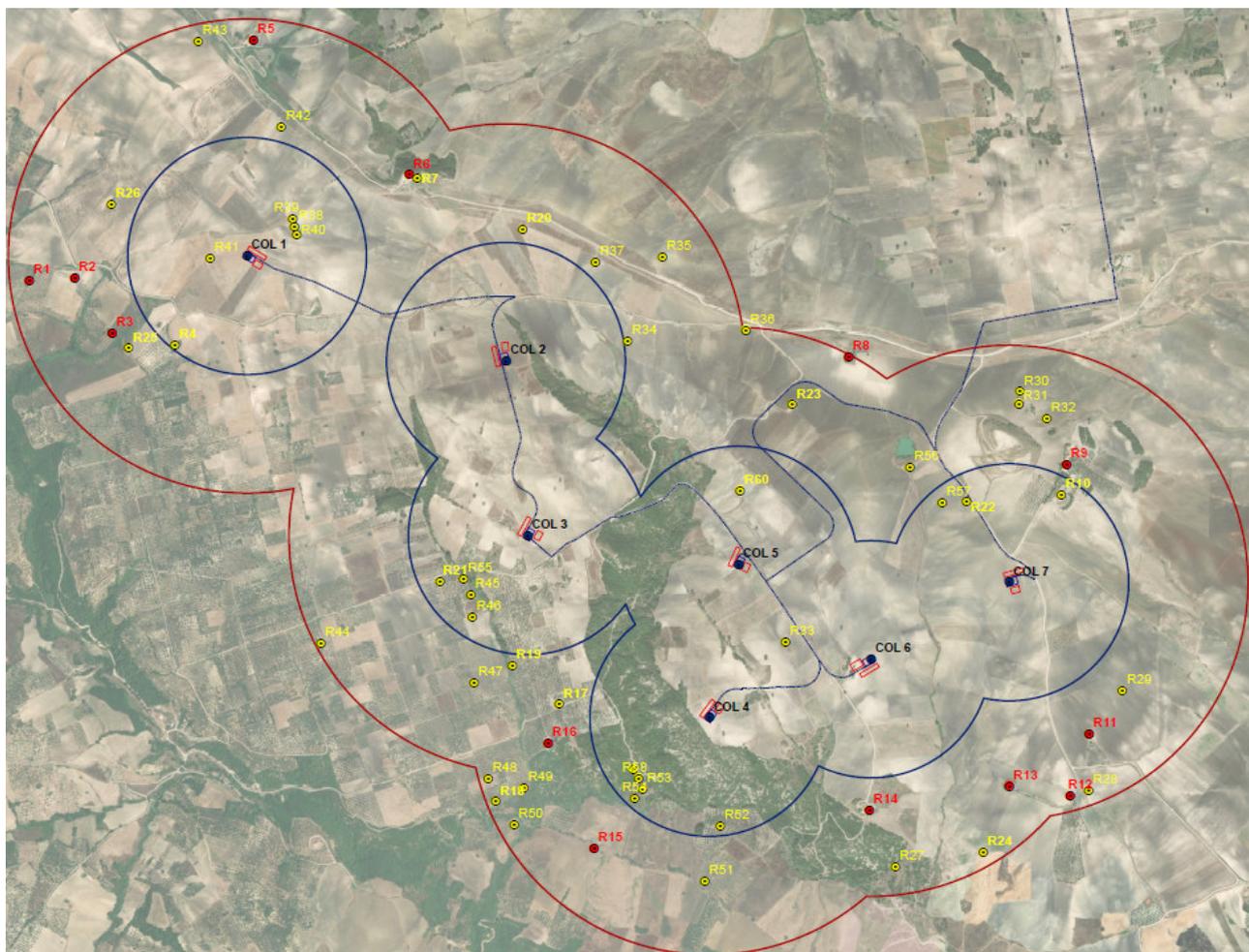


Figura 2: Individuazione potenziali recettori

In particolare, sono stati considerati tutti gli edifici rientranti nella distanza di 1000 mt dall'aerogeneratore classificati alle categorie catastali da A1 a A10 e quelle classificate come D10.

| ID shadow | RICETTORI | EST       | NORD       |
|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1         | R1        | 498930,00 | 4614684,00 |
| 2         | R2        | 499120,00 | 4614694,00 |
| 3         | R3        | 499277,00 | 4614461,00 |
| 4         | R5        | 499868,00 | 4615699,00 |
| 5         | R6        | 500520,00 | 4615130,00 |
| 6         | R8        | 502360,00 | 4614361,00 |
| 7         | R9        | 503272,00 | 4613907,00 |
| 8         | R11       | 503366,00 | 4612772,00 |
| 9         | R12       | 503288,00 | 4612511,00 |
| 10        | R13       | 503032,00 | 4612552,00 |
| 11        | R14       | 502446,00 | 4612451,00 |
| 12        | R15       | 501294,00 | 4612290,00 |
| 13        | R16       | 501102,00 | 4612734,00 |

Tabella 3 - Tabella riepilogativa dei ricettori sensibili

## 6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E CONCLUSIONI

Le elaborazioni per il calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine eoliche sono state condotte considerando un totale di 13 recettori sensibili posti nell'area ricadente il parco.

Al di là di una certa distanza, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa infinitesimamente piccolo, da poter essere trascurato. Siccome non vi è un valore, generalmente accettato, per questa distanza massima, il modulo utilizzato permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro della turbina.

Nel caso specifico è stata considerata una distanza dalla turbina di 1000m.

Il modello numerico utilizzato, al pari di altri presenti sul mercato, produce in output una mappa dell'impatto dell'ombra sul terreno, nel caso più penalizzante denominato "worst case", corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (circa **4380h/a di luce**), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inciderebbero il fenomeno stesso di shadow flickering per impossibilità che si generi il fenomeno di flickering, oltre agli input specificati precedentemente, che rendono il caso in oggetto nettamente peggiorativo, ma soprattutto considerano le turbine sempre in movimento ed alla massima rotazione del rotore.

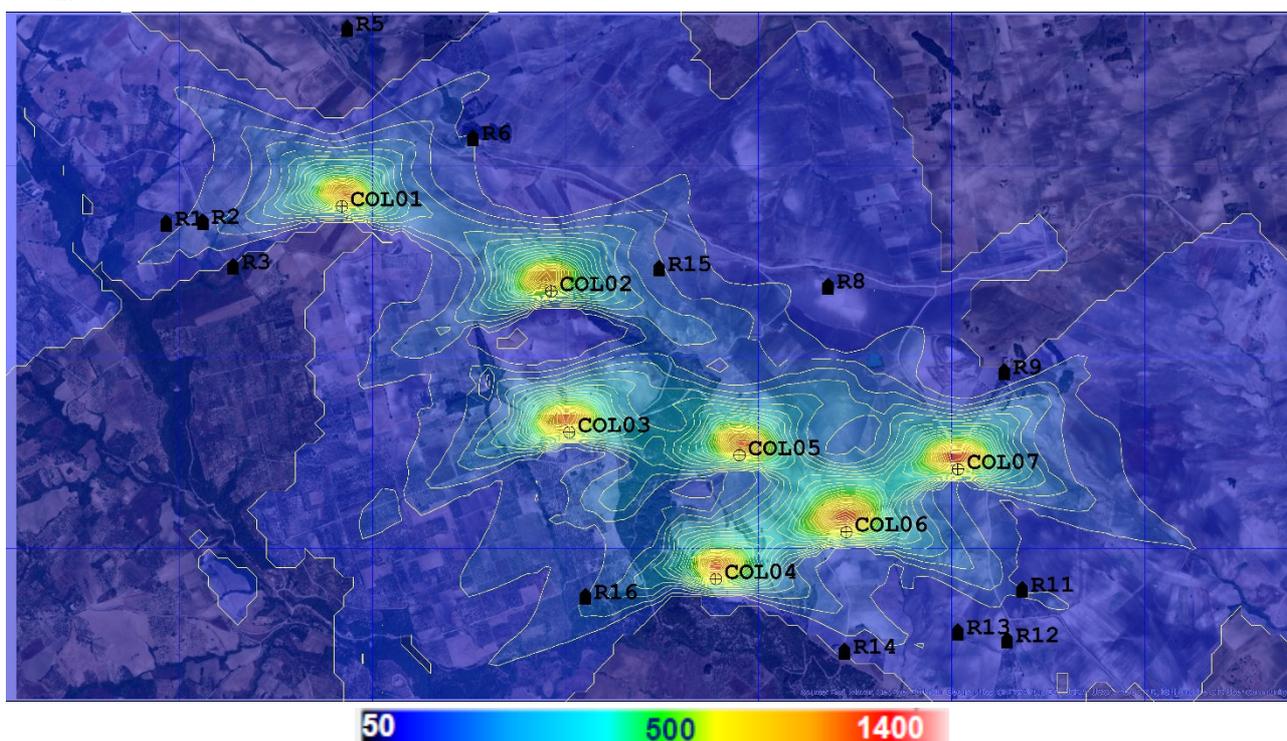


Figura 3 – Visualizzazione mappa delle ombre generate dalla

Successivamente si è calcolato l'ombreggiamento in ore/anno sulle finestre più esposte dei ricettori ritenuti più esposti secondo la mappa di cui sopra.

|  |  |                    |         |
|--|--|--------------------|---------|
| <b>GRV Wind Molise 1 S.r.l.</b><br> | <b>STUDIO EVOLUZIONE DELLE OMBRE<br/>SHADOW FLICKERING</b> | Cod. AS239-SI11-R  |         |
|  |  | Data<br>15/12/2021 | Rev. 00 |

Project : WCOL  
Run Name : KWCOL002.WFK  
Title :  
Time : 19:18:41, 21 Dec 2021

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH WINDOW FOR ALL TURBINES

| House/<br>Window | Easting | Northing | Width<br>(m) | Depth<br>(m) | Height<br>(m) | Degrees<br>from<br>North | Tilt<br>angle | Days<br>per<br>year | Max<br>hours<br>per<br>day | Mean<br>hours<br>per<br>day | Total<br>hours |
|------------------|---------|----------|--------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1/ 1             | 498930  | 4614684  | 2.0          | 1.0          | 1.0           | 135.0                    | 0.0           | 71                  | 0.75                       | 0.58                        | 41.5           |
| 2/ 1             | 499120  | 4614694  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 135.0                    | 0.0           | 103                 | 0.93                       | 0.68                        | 70.5           |
| 2/ 2             | 499120  | 4614694  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 135.0                    | 0.0           | 103                 | 0.93                       | 0.68                        | 70.5           |
| 5/ 1             | 500520  | 4615130  | 2.0          | 1.0          | 4.0           | 90.0                     | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 5/ 2             | 500520  | 4615130  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 90.0                     | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 1             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 2             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 1.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 3             | 502360  | 4614361  | 2.0          | 1.0          | 4.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.6           |
| 6/ 4             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.5           |
| 6/ 5             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 2.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.6           |
| 6/ 6             | 502495  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 8/ 1             | 503366  | 4612772  | 2.0          | 1.0          | 5.0           | 315.0                    | 0.0           | 98                  | 0.75                       | 0.56                        | 55.0           |
| 8/ 2             | 503366  | 4612772  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 315.0                    | 0.0           | 98                  | 0.75                       | 0.56                        | 54.7           |
| 10/ 1            | 503032  | 4612552  | 2.0          | 1.0          | 3.0           | 315.0                    | 0.0           | 55                  | 0.56                       | 0.43                        | 23.7           |

**Tabella 4-Ore di ombreggiamento caso worst case**

Nel momento in cui nel calcolo, verrà considerato anche la percentuale annua di giorni nuvolosi l'impatto in termini di ore di ombreggiamento annua risulterà minore dei risultati ottenuti. Ulteriori indagini andranno condotte al fine di verificare che i recettori sensibili che subiscono più ombreggiamento non abbiano schermi naturali quali alberi o costruzioni varie che riducono l'impatto stesso, allo stesso tempo bisognerà verificare il posizionamento degli infissi qualora non fossero rivolti verso le turbine che porterebbe l'impatto ad annullarsi. Qualora questi recettori sensibili evidenzino problematiche derivanti da questo impatto è possibile che lo sviluppatore pianifichi di piantare alberi addizionali allo scopo di schermare l'ombreggiamento.

Per le motivazioni di cui sopra, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (denominato REAL CASE), si è impiegato il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno..

Per l'area in esame tale valore di soleggiamento corrisponde a circa 2400 h/yr (rispetto alle 4380 h/yr considerate nel worst - case). I risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.2 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2400/4380 = 54.8 \%$ . In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 54.8 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi. Tutto ciò non tiene conto di altri fattori che potrebbero diminuire o annullare del tutto l'effetto flickering sul recettore, come la presenza di alberi interposti tra turbina e recettore e/o posizionamento delle abitazioni e dei propri infissi rispetto alla fonte, la presenza del vento (fattore indispensabile per la formazione del fenomeno dello sfarfallio).

Bisogna tenere presente che tale riduzione si è ottenuta solo ed esclusivamente considerando le condizioni meteorologiche assimilabili a quelle reali della zona in esame in riferimento alla presenza del sole. Per tale motivo, il calcolo, nel caso real-case, è comunque da considerarsi molto cautelativo in quanto nella simulazione vengono comunque utilizzate le condizioni al contorno del worst - case indicate nel capitolo 4. I nuovi valori, alla luce delle considerazioni appena fatte, sono stati riportati nella seguente tabella:

|           | WORST-CASE               | REAL-CASE                | Percentuale riferita<br>alle ore diurne annuali<br>– WORST CASE | Percentuale<br>riferita alle ore<br>diurne annuali<br>– REAL CASE |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---|---|
| RICETTORI | OMBREGGIAMENTO<br>[h/yr] | OMBREGGIAMENTO<br>[h/yr] | %   | %   |
| R2        | 41.5                     | 23                       | 0,9%  | 0,5%  |
| R2        | 70.5                     | 39                       | 1,6%  | 0,9%  |
| R6        | 0                        | 0                        | 0,0%  | 0,0%  |
| R8        | 14.6                     | 8                        | 0,3%  | 0,2%  |
| R11       | 55                       | 30                       | 1,3%  | 0,7%  |
| R13       | 23.7                     | 13                       | 0,5%  | 0,3%  |

**Tabella 6**-Ore di ombreggiamento e percentuali rispetto a 4380 h/anno giornaliera

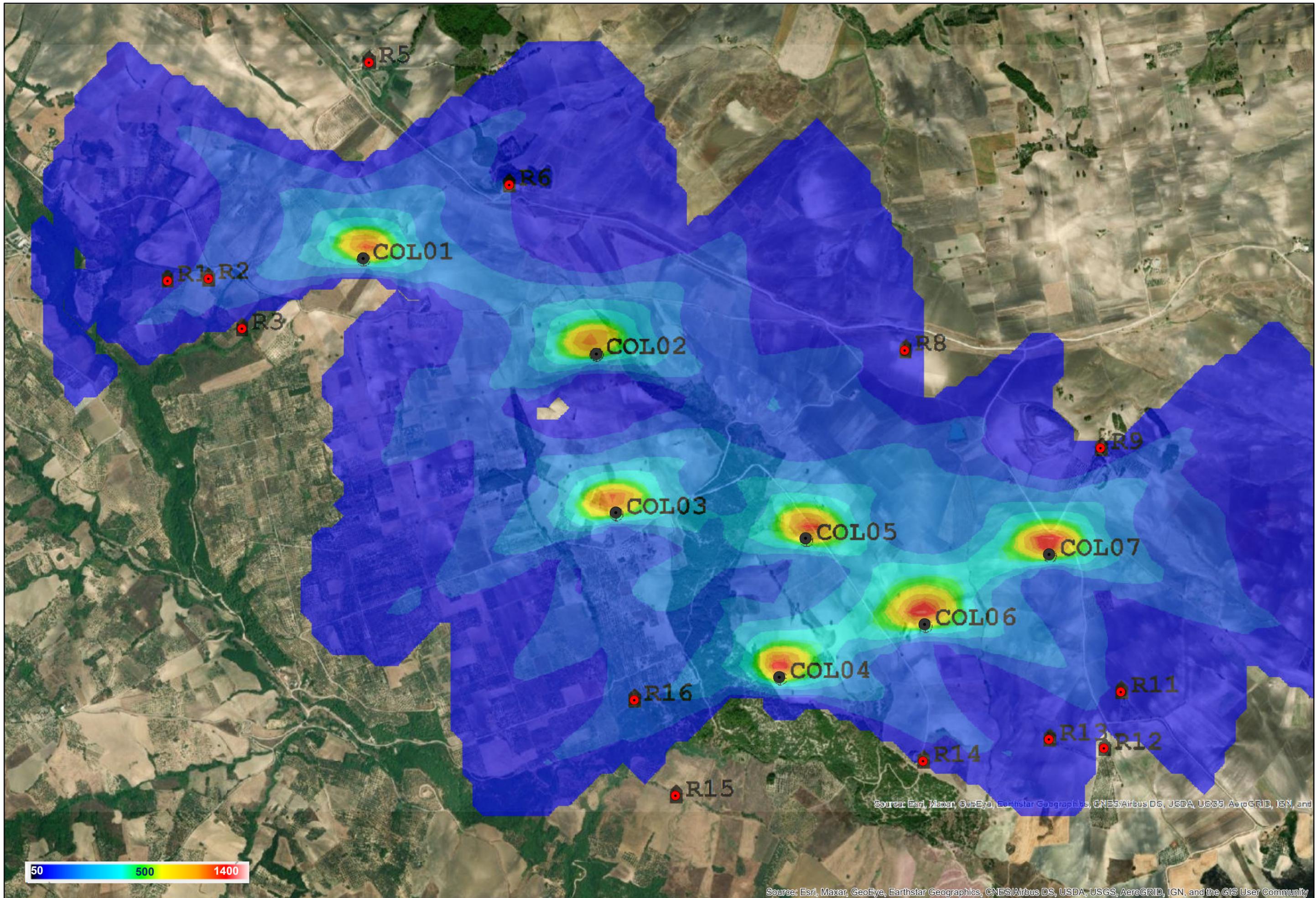
## 7 CONCLUSIONI

Il lavoro è stato svolto in due distinte fasi, di cui la prima tramite software idonei al calcolo dell'effetto di shadow-flickering il quale ha portato alla luce che 3 ricettori su 13 sono esterni al cono d'ombra. La seconda fase di studio, ha cercato in modo empirico di avvicinarsi ad un caso reale con condizioni al contorno identiche (come ad esempio considerare qualsiasi edificio trasparente, dato da non sottovalutare), considerando in aggiunta il solo fattore nuvolosità. Tale studio ha portato ad una drastica diminuzione del monte ore/anno, che nel peggiore dei casi porterebbe mediamente un effetto giornaliero pari a 0.48h/gg.

Si aggiunge che nel presente studio non è stato considerato l'ombreggiamento dato dalle alberature presenti nei cortili dei fabbricati e non è stato studiato il posizionamento delle aperture finestrate. Queste ulteriori ipotesi potrebbero addirittura eliminare completamente alcuni edifici tra la lista dei ricettori se gli stessi fossero sprovvisti di apertura ad Ovest o ad Est (massimo allungamento delle curva di ombreggiamento), o fossero già ombreggiati naturalmente.

In ogni caso, la Società si impegna, se dovessero nascere delle precise e puntuali criticità, a mitigare l'effetto stroboscopico presso il recettore, intervenendo con piantumazioni di alberi schermanti e/o attraverso l'installazione di pensiline in prossimità delle aperture finestrate più esposte.

# Studio dello Shadow\_flickering parco eolico di Colletorto e San Giuliano di Puglia



Project : WCOL  
 Run Name : KWCOL002.WFK  
 Title :  
 Time : 19:18:41, 21 Dec 2021

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH WINDOW FOR ALL TURBINES

| House/<br>Window | Easting | Northing | Width<br>(m) | Depth<br>(m) | Height<br>(m) | Degrees<br>from<br>North | Tilt<br>angle | Days<br>per<br>year | Max<br>hours<br>per<br>day | Mean<br>hours<br>per<br>day | Total<br>hours |
|------------------|---------|----------|--------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1/ 1             | 498930  | 4614684  | 2.0          | 1.0          | 1.0           | 135.0                    | 0.0           | 71                  | 0.75                       | 0.58                        | 41.5           |
| 2/ 1             | 499120  | 4614694  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 135.0                    | 0.0           | 103                 | 0.93                       | 0.68                        | 70.5           |
| 2/ 2             | 499120  | 4614694  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 135.0                    | 0.0           | 103                 | 0.93                       | 0.68                        | 70.5           |
| 5/ 1             | 500520  | 4615130  | 2.0          | 1.0          | 4.0           | 90.0                     | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 5/ 2             | 500520  | 4615130  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 90.0                     | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 1             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 2             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 1.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 6/ 3             | 502360  | 4614361  | 2.0          | 1.0          | 4.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.6           |
| 6/ 4             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.5           |
| 6/ 5             | 502360  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 2.0           | 315.0                    | 0.0           | 38                  | 0.49                       | 0.38                        | 14.6           |
| 6/ 6             | 502495  | 4614361  | 1.0          | 1.0          | 4.0           | 135.0                    | 0.0           | 0                   | 0.00                       | 0.00                        | 0.0            |
| 8/ 1             | 503366  | 4612772  | 2.0          | 1.0          | 5.0           | 315.0                    | 0.0           | 98                  | 0.75                       | 0.56                        | 55.0           |
| 8/ 2             | 503366  | 4612772  | 1.0          | 1.0          | 5.0           | 315.0                    | 0.0           | 98                  | 0.75                       | 0.56                        | 54.7           |
| 10/ 1            | 503032  | 4612552  | 2.0          | 1.0          | 3.0           | 315.0                    | 0.0           | 55                  | 0.56                       | 0.43                        | 23.7           |