

REGIONE MARCHE




Comuni di San Severino Marche e Serrapetrona (MC)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
EOLICO DELLA POTENZA DI 36,0 MW
e delle relative opere di connessione alla RTN sito nei comuni di San
Severino Marche, Serrapetrona, Castelraimondo e Camerino (MC)

TITOLO

Studio degli effetti di shadow flickering

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	
 SR International S.r.l. C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004 	 Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l. Viale Castro Pretorio, 122 - 00185 Roma C.F e P.IVA 15604711000	

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	20/06/2022	G. Lauretti	Bartolazzi	F.O. Renewables	Studio degli effetti di shadow flickering

N° DOCUMENTO

FLS-SSV-SF

SCALA

--

FORMATO

A4

Copyright © 2019 SR international s.r.l.
Tutti i diritti riservati

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in sistemi di recupero o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, fotocopie, registrazione o altrimenti, senza la previa autorizzazione scritta della società SR international srl.

GLOSSARIO

AC	Corrente alternata
AEEG	Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas
BAT	Migliori Tecniche Disponibili
CIP	Comitato interministeriale dei prezzi
CIPE	Comitato interministeriale programmazione economica
DC	Corrente continua
DGR	Decreto Giunta Regionale
DM	Decreto ministeriale
DPCM	Decreto del Presidente Consiglio dei ministri
ENEL	Operatore locale del sistema di trasmissione
ER	Energia rinnovabile
GHG	Gas ad effetto serra
GME	Gestore del mercato elettrico
IAFR	Domanda da presentare al GSE per iniziare un impianto di ER
MAP	Ministero delle attività produttive
MT	Media tensione
NA	Non ammissibili
NC	Non comunicati
NN	Non necessario
PRG	Piano Regolatore Comunale
RTI	Raggruppamento temporaneo di imprese
SR	Studio Rinnovabili
TERNA	Operatore del sistema di trasmissione nazionale
UTF	Ufficio tecnico di finanza
WTG	Wind Turbine Generator

INDICE

INDICE	3
INDICE FIGURE	3
INDICE TABELLE	3
1. PREMESSA	4
2. INTRODUZIONE	5
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.1. Normativa internazionale.....	5
3.2. Normativa nazionale e regionale	5
4. IL PROGETTO	6
4.1. Inquadramento territoriale e progettuale	6
4.2. Layout dell’impianto eolico.....	7
4.3. Ricettori interessati	7
5. EFFETTO SHADOW-FLICKERING	15
5.1. Premessa Metodologica	15
5.2. Il software previsionale WindFarm.....	15
5.3. Stima degli impatti post-operam worst case	16
5.4. Stima degli impatti post-operam real case.....	17
5.5. Mitigazioni degli impatti	21
6. APPENDICE A – DIAGRAMMI RICETTORI / FINESTRE	22

Indice figure

Figura 1. Stralcio su ortofoto con indicazione del progetto	6
Figura 2. Dettaglio del layout del parco su mappa orografica	8

Indice tabelle

Tabella 1. – Coordinate aerogeneratori del progetto eolico	7
Tabella 2. – Elenco ricettori.....	9
Tabella 3. – Elenco e direzione finestre per i ricettori.....	14
Tabella 4 – Parametri di configurazione per il calcolo.....	17
Tabella 5 - Confronto tra i risultati del ‘Worst case’ e del ‘Real case’	21

1. PREMESSA

Il presente progetto ha come obiettivo la realizzazione di una centrale per la produzione di energia da fonte rinnovabile tramite l'impiego di tecnologia eolica. La realizzazione dell'opera prevede l'installazione di n.7 aerogeneratori, modello Vestas V1620-6,0, della potenza unitaria di 6,0 MW depotenziata a 5,14 MW per una potenza totale di 35,8 MW. Tuttavia non si esclude la possibilità di ricorrere ad alcune varianti progettuali per incrementare la produttività dell'impianto, anche in funzione dei futuri sviluppi di mercato.

Soggetto responsabile del parco eolico, denominato "Energia Monte San Pacifico" e delle opere di connessione alla nuova Stazione Elettrica 132 kV di Terna S.p.A., è la società *Fred. Olsen Renewables Italy S.r.l.* che ha come attività principali lo sviluppo, la progettazione, l'installazione, la commercializzazione, la gestione e la vendita di energia elettrica generata da fonti rinnovabili. La società ha sede a Roma, in Viale Castro Pretorio n. 122 – CAP 00185, C.F e P.IVA 15604711000.

SR International S.r.l. è una società di consulenza e progettazione operante nel settore delle fonti di energia rinnovabili, in particolare solare ed eolica. Per la realizzazione del progetto in esame essa funge da soggetto di riferimento per il supporto tecnico-progettuale.

L'impianto in progetto comporta un significativo contributo alla produzione di energia rinnovabile; l'energia prodotta sarà immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale di proprietà della società Terna S.p.A.

2. INTRODUZIONE

Gli impianti per la produzione di energia elettrica da fonte eolica prevedono l'installazione di aerogeneratori che, per le loro caratteristiche tecniche e di funzionamento possono determinare la presenza di ombre intermittenti nell'area di installazione.

Durante il periodo di funzionamento del parco, il movimento di rotazione del rotore crea un effetto di ombreggiamento intermittente nell'area circostante chiamato shadow-flickering. Questo effetto accade, quindi, nel corso della giornata, in particolare nelle ore mattutine e serali per via della bassa posizione del sole sull'orizzonte.

In presenza di ricettori nelle vicinanze del parco eolico, l'occorrenza di questo effetto dovrà essere studiata e quantificata, per verificare il fastidio potenziale per gli esseri umani all'interno di una abitazione.

Gli elementi dell'impianto eolico che possono causare ombra sono:

- torre di sostegno
- pale in rotazione

Il fenomeno viene definito in termini tecnici "flickering" delle pale, e viene avvertito soprattutto alle elevate latitudini nord-europee, dove la permanenza del sole ad altezze limitate sopra l'orizzonte è maggiore.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1. Normativa internazionale

L'effetto shadow-flickering è più pronunciato nelle latitudini settentrionali durante i mesi invernali. In particolare, nel Nord Europa, il sole splende in un angolo obliquo per più ore del giorno e più giorni l'anno. Alcuni paesi hanno adottato dei limiti relativi all'esposizione all'effetto in questione.

I regolamenti internazionali, alcuni studi, e le linee guida del Nord Europa e Australia hanno proposto 30 ore di effetto shadow-flickering per anno come soglia di impatto significativo, ovvero il punto in cui l'effetto ombra è comunemente percepito come fastidioso. Ad esempio, un tribunale in Germania ha stabilito che l'ombreggiamento intermittente massimo consentito dovrebbe essere di 30 ore all'anno (Klepinger, 2007). In Austria, Dobesch e Kury (2001) raccomanda che il fenomeno non superi le 30 ore/anno. Le linee guida per lo sviluppo di energia eolica nello Stato di Victoria, Australia, specificano che l'intermittenza dell'ombra non può superare 30 ore all'anno in qualsiasi abitazione nelle immediate vicinanze (Sustainable Energy Authority Victoria, 2003).

In alcuni paesi vengono considerati limiti di vario tipo all'ombreggiamento intermittente. Il più rilevante è la **Germania** dove il limite è a 30 ore. Questo limite è contenuto in un documento applicativo che è consuetudine utilizzare per l'applicazione della legge federale sul controllo delle immissioni (BImSchG art.5 comma 1, punti 1 e 2, e art. 22 comma 1) (Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen - Indicazioni sulla determinazione e valutazione delle immissioni ottiche delle turbine eoliche). Secondo le consuetudini tedesche, il massimo ombreggiamento su un vicino è:

- Massimo 30 ore all'anno di ombra massima astronomica
- Massimo 30 minuti al giorno di ombra massima astronomica

Se si usa una regolazione automatica, il reale impatto dell'ombra andrà limitato a 8 ore all'anno.

Anche in **Svezia** e **Danimarca** vi sono limiti usati in pratica di 10 ore (Danimarca) e 8 ore (Svezia).

Un approccio basato sulla valutazione caso per caso è contenuto nel documento "National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)" del Department of Energy and Climate Change (**Regno Unito**, 2011)) dove si indica una distanza di 10 diametri come zona potenzialmente impattata.

3.2. Normativa nazionale e regionale

Non esiste, al momento, normativa nazionale che faccia riferimento all'effetto shadow-flickering o che stabilisca alcun limite di esposizione a questo fenomeno. Anche al livello regionale non sono presenti disposizioni specifiche che stabiliscono limiti quantitativi o indicazioni cui sottostare.

4. IL PROGETTO

4.1. Inquadramento territoriale e progettuale

Il progetto eolico oggetto dello studio è localizzato nelle Marche, in provincia di Macerata, nei territori comunali di San Severino Marche e Serrapetrona. La zona prevista per la realizzazione del parco eolico è situata in parte sul Monte San Pacifico ed in parte sul Monte di Colleluce.

La centrale eolica sarà formata da n.7 unità produttive, ciascuna costituita da un aerogeneratore che nella soluzione progettuale prescelta ha potenza di 5.14 MW, per una potenza complessiva nominale di 36 MW. Il progetto prevede quindi l'uso di aerogeneratori della più moderna tecnologia e di elevata potenza nominale unitaria, in modo da massimizzare la potenza dell'impianto e l'energia producibile, diminuendo così il numero di turbine e quindi l'impatto ambientale a parità di potenza installata.

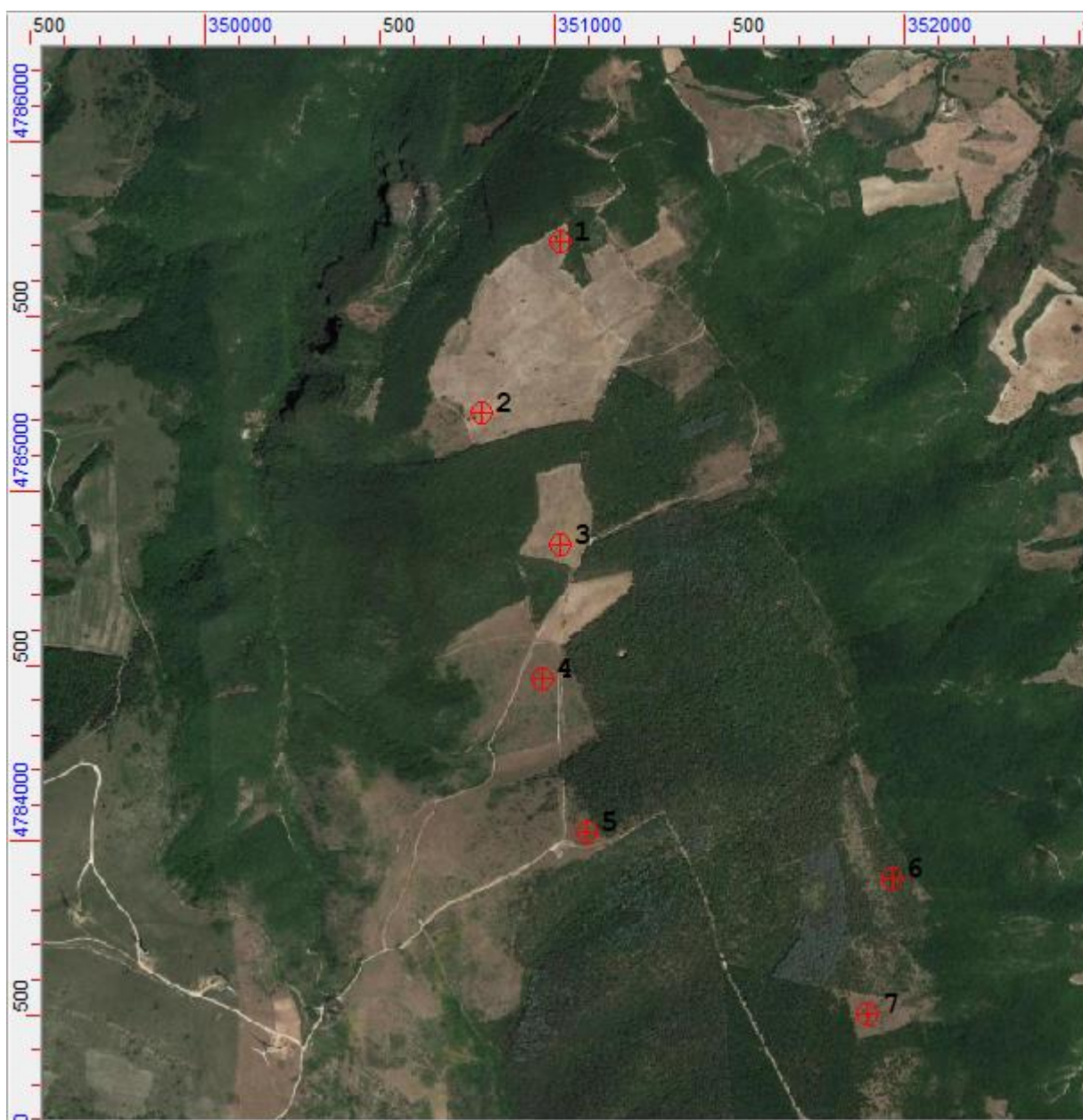


Figura 1. Stralcio su ortofoto con indicazione del progetto

Si riporta in Figura 1 una rappresentazione fotografica della porzione di territorio interessata dal progetto eolico, visibile dai comuni di San Severino Marche e Serrapetrona.

4.2. Layout dell'impianto eolico

In tabella 1 sono riportate le coordinate espresse nel sistema di riferimento UTM33–WGS84.

Turbine	Comune	Long	Lat	Tipo
T1	San Severino Marche	351016	4785718	V162 HH125
T2	San Severino Marche	350791	4785229	V162 HH125
T3	San Severino Marche	351014	4784848	V162 HH125
T4	San Severino Marche	350965	4784469	V162 HH125
T5	Serrapetrona	351092	4784031	V162 HH125
T6	San Severino Marche	351964	4783896	V162 HH125
T7	Serrapetrona	351895	4783508	V162 HH125

Tabella 1. – Coordinate aerogeneratori del progetto eolico

Il layout presentato utilizza la turbina Vestas	V162
Potenza unitaria:	5.14 MW
Altezza da terra della navicella	125 m
Diametro del rotore:	162 m

4.3. Ricettori interessati

Il terreno dell'area di progetto è prevalentemente destinato ad uso agricolo e fuori dai centri di San Severino Marche e Serrapetrona di oltre 3 Km.

Per l'individuazione dei ricettori potenzialmente affetti da shadow-flickering è stata predisposta una prima analisi del territorio nel raggio di 1.5 km dal centro della singola turbina e utilizzando come limite inferiore le 30 ore previste dalla normativa internazionale.

Da suddetta analisi, è stato possibile realizzare una prima selezione di tutti i potenziali ricettori colpiti da shadow-flickering, riportati in figura 2; in seguito, confrontando in maniera incrociata le immagini da Google Earth e le categorie catastali associati ai singoli edifici, è stata elaborata la lista definitiva. Per ulteriori approfondimenti sulla scelta dei ricettori sensibili, si rimanda all'elaborato "FLS-SSV-RIC – Analisi dei ricettori".

Nella Tabella 2 si riporta l'elenco di ricettori individuati.

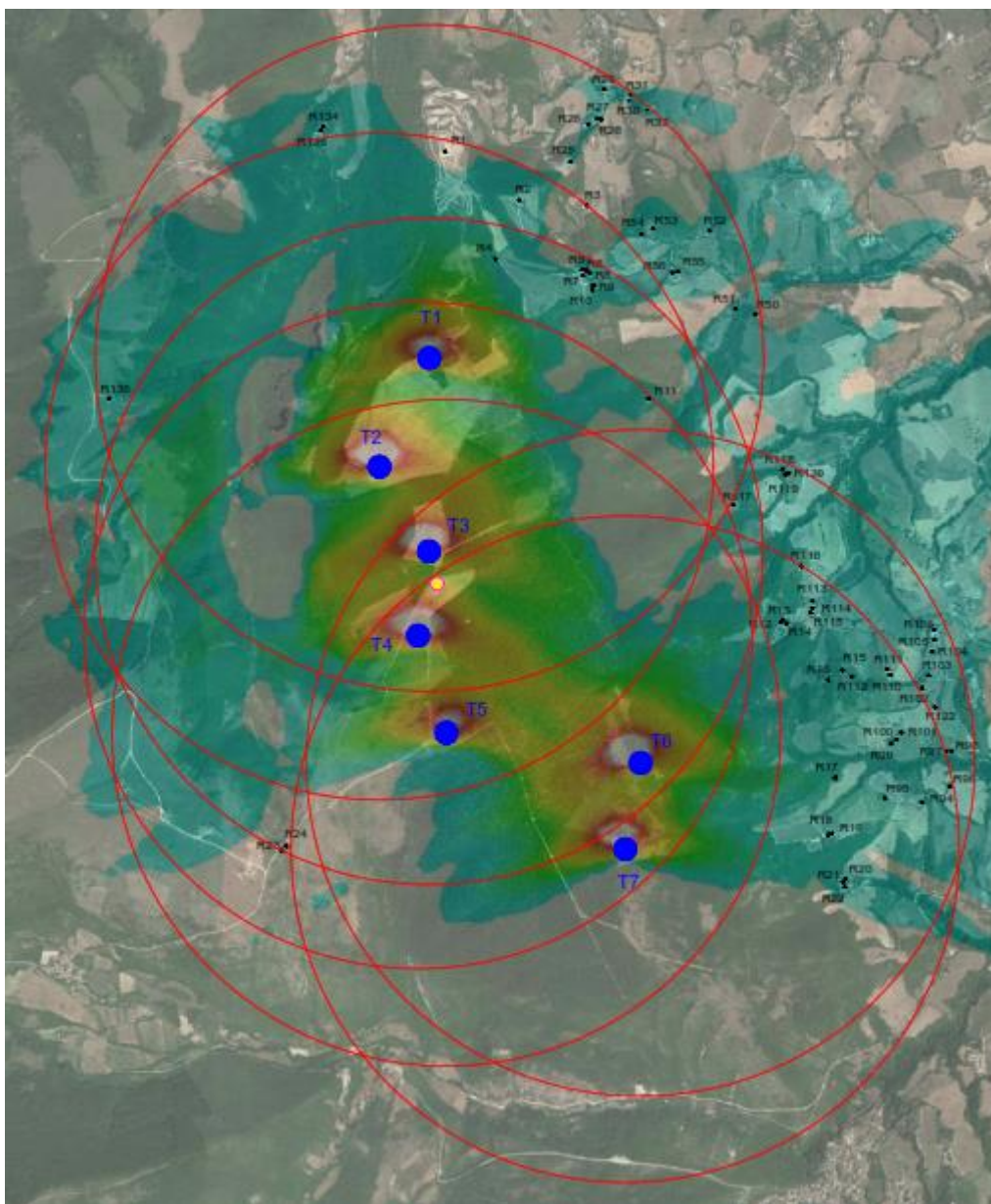


Figura 2. Distribuzione dello shadow flickering lungo il territorio e ricettori individuati

Ricettore	Comune	Long	Lat	Tipo
R2	San Severino Marche	351419	4786430	sensibile
R3	San Severino Marche	351722	4786405	sensibile
R6	San Severino Marche	351719	4786113	sensibile
R7	San Severino Marche	351706	4786089	sensibile
R9	San Severino Marche	351751	4786046	sensibile
R10	San Severino Marche	351747	4786025	sensibile
R11	San Severino Marche	351999	4785537	sensibile

R14	San Severino Marche	352620	4784526	sensibile
R15	San Severino Marche	352870	4784314	sensibile
R16	San Severino Marche	352808	4784269	sensibile
R18	San Severino Marche	352806	4783573	sensibile
R19	San Severino Marche	352824	4783580	sensibile
R21	Serrapetrona	352872	4783360	sensibile
R25	San Severino Marche	351647	4786601	sensibile
R27	San Severino Marche	351769	4786794	sensibile
R29	San Severino Marche	351800	4786926	sensibile
R30	San Severino Marche	351912	4786877	sensibile
R33	San Severino Marche	351991	4786835	sensibile
R50	San Severino Marche	352480	4785917	sensibile
R51	San Severino Marche	352389	4785939	sensibile
R52	San Severino Marche	352272	4786290	sensibile
R54	San Severino Marche	351969	4786276	sensibile
R55	San Severino Marche	352130	4786106	sensibile
R56	San Severino Marche	352105	4786103	sensibile
R94	San Severino Marche	353225	4783721	sensibile
R95	San Severino Marche	353059	4783739	sensibile
R96	San Severino Marche	353353	4783791	sensibile
R100	San Severino Marche	353110	4784001	sensibile
R102	San Severino Marche	353228	4784234	sensibile
R103	San Severino Marche	353258	4784289	sensibile
R106	San Severino Marche	353284	4784495	sensibile
R110	San Severino Marche	353083	4784290	sensibile
R111	San Severino Marche	353072	4784316	sensibile
R112	San Severino Marche	352913	4784284	sensibile
R114	San Severino Marche	352736	4784594	sensibile
R116	San Severino Marche	352685	4784781	sensibile
R117	San Severino Marche	352378	4785056	sensibile
R119	San Severino Marche	352613	4785194	sensibile
R134	San Severino Marche	350537	4786757	sensibile
R135	San Severino Marche	350527	4786741	sensibile
R136	San Severino Marche	349577	4785535	sensibile

Tabella 2. – Elenco ricettori

In tabella 3 viene presentato l'elenco dei ricettori con specificate le loro finestre, per ciascuna delle quali viene riportato anche l'orientamento rispetto al nord geografico.

Ricettore	Parete/Finestra		Long	Lat	Direzione finestra
R2	Fin1	sensibile	351419	4786430	245
R2	Fin2	sensibile	351419	4786430	335
R2	Fin3	sensibile	351419	4786430	65
R2	Fin4	sensibile	351419	4786430	155
R3	Fin1	sensibile	351722	4786405	236
R3	Fin2	sensibile	351722	4786405	326
R3	Fin3	sensibile	351722	4786405	56
R3	Fin4	sensibile	351722	4786405	146
R6	Fin1	sensibile	351719	4786113	227
R6	Fin2	sensibile	351719	4786113	317
R6	Fin3	sensibile	351719	4786113	47
R6	Fin4	sensibile	351719	4786113	137
R7	Fin1	sensibile	351706	4786089	238
R7	Fin2	sensibile	351706	4786089	328
R7	Fin3	sensibile	351706	4786089	58
R7	Fin4	sensibile	351706	4786089	148
R9	Fin1	sensibile	351751	4786046	243
R9	Fin2	sensibile	351751	4786046	333
R9	Fin3	sensibile	351751	4786046	63
R9	Fin4	sensibile	351751	4786046	153
R10	Fin1	sensibile	351747	4786025	262
R10	Fin2	sensibile	351747	4786025	352
R10	Fin3	sensibile	351747	4786025	82
R10	Fin4	sensibile	351747	4786025	172
R11	Fin1	sensibile	351999	4785537	213
R11	Fin2	sensibile	351999	4785537	303
R11	Fin3	sensibile	351999	4785537	33
R11	Fin4	sensibile	351999	4785537	123
R14	Fin1	sensibile	352620	4784526	300
R14	Fin2	sensibile	352620	4784526	30
R14	Fin3	sensibile	352620	4784526	120
R14	Fin4	sensibile	352620	4784526	210
R15	Fin1	sensibile	352870	4784314	247

R15	Fin2	sensibile	352870	4784314	337
R15	Fin3	sensibile	352870	4784314	67
R15	Fin4	sensibile	352870	4784314	157
R16	Fin1	sensibile	352808	4784269	277
R16	Fin2	sensibile	352808	4784269	7
R16	Fin3	sensibile	352808	4784269	97
R16	Fin4	sensibile	352808	4784269	187
R18	Fin1	sensibile	352806	4783573	281
R18	Fin2	sensibile	352806	4783573	11
R18	Fin3	sensibile	352806	4783573	101
R18	Fin4	sensibile	352806	4783573	191
R19	Fin1	sensibile	352824	4783580	298
R19	Fin2	sensibile	352824	4783580	28
R19	Fin3	sensibile	352824	4783580	118
R19	Fin4	sensibile	352824	4783580	208
R21	Fin1	sensibile	352872	4783360	270
R21	Fin2	sensibile	352872	4783360	0
R21	Fin3	sensibile	352872	4783360	90
R21	Fin4	sensibile	352872	4783360	180
R25	Fin1	sensibile	351647	4786601	225
R25	Fin2	sensibile	351647	4786601	315
R25	Fin3	sensibile	351647	4786601	45
R25	Fin4	sensibile	351647	4786601	135
R27	Fin1	sensibile	351769	4786794	211
R27	Fin2	sensibile	351769	4786794	301
R27	Fin3	sensibile	351769	4786794	31
R27	Fin4	sensibile	351769	4786794	121
R29	Fin1	sensibile	351800	4786926	280
R29	Fin2	sensibile	351800	4786926	10
R29	Fin3	sensibile	351800	4786926	100
R29	Fin4	sensibile	351800	4786926	190
R30	Fin1	sensibile	351912	4786877	278
R30	Fin2	sensibile	351912	4786877	8
R30	Fin3	sensibile	351912	4786877	98
R30	Fin4	sensibile	351912	4786877	188
R33	Fin1	sensibile	351991	4786835	254
R33	Fin2	sensibile	351991	4786835	344
R33	Fin3	sensibile	351991	4786835	74

R33	Fin4	sensibile	351991	4786835	164
R50	Fin1	sensibile	352480	4785917	261
R50	Fin2	sensibile	352480	4785917	351
R50	Fin3	sensibile	352480	4785917	81
R50	Fin4	sensibile	352480	4785917	171
R51	Fin1	sensibile	352389	4785939	221
R51	Fin2	sensibile	352389	4785939	331
R51	Fin3	sensibile	352389	4785939	41
R51	Fin4	sensibile	352389	4785939	131
R52	Fin1	sensibile	352272	4786290	270
R52	Fin2	sensibile	352272	4786290	0
R52	Fin3	sensibile	352272	4786290	90
R52	Fin4	sensibile	352272	4786290	180
R54	Fin1	sensibile	351969	4786276	231
R54	Fin2	sensibile	351969	4786276	321
R54	Fin3	sensibile	351969	4786276	51
R54	Fin4	sensibile	351969	4786276	141
R55	Fin1	sensibile	352130	4786106	252
R55	Fin2	sensibile	352130	4786106	342
R55	Fin3	sensibile	352130	4786106	72
R55	Fin4	sensibile	352130	4786106	162
R56	Fin1	sensibile	352105	4786103	259
R56	Fin2	sensibile	352105	4786103	349
R56	Fin3	sensibile	352105	4786103	79
R56	Fin4	sensibile	352105	4786103	169
R94	Fin1	sensibile	353225	4783721	262
R94	Fin2	sensibile	353225	4783721	352
R94	Fin3	sensibile	353225	4783721	82
R94	Fin4	sensibile	353225	4783721	172
R95	Fin1	sensibile	353059	4783739	262
R95	Fin2	sensibile	353059	4783739	352
R95	Fin3	sensibile	353059	4783739	82
R95	Fin4	sensibile	353059	4783739	172
R96	Fin1	sensibile	353353	4783791	277
R96	Fin2	sensibile	353353	4783791	7
R96	Fin3	sensibile	353353	4783791	97
R96	Fin4	sensibile	353353	4783791	187
R100	Fin1	sensibile	353110	4784001	270

R100	Fin2	sensibile	353110	4784001	0
R100	Fin3	sensibile	353110	4784001	90
R100	Fin4	sensibile	353110	4784001	180
R102	Fin1	sensibile	353228	4784234	270
R102	Fin2	sensibile	353228	4784234	0
R102	Fin3	sensibile	353228	4784234	90
R102	Fin4	sensibile	353228	4784234	180
R103	Fin1	sensibile	353258	4784289	292
R103	Fin2	sensibile	353258	4784289	22
R103	Fin3	sensibile	353258	4784289	112
R103	Fin4	sensibile	353258	4784289	202
R106	Fin1	sensibile	353284	4784495	313
R106	Fin2	sensibile	353284	4784495	43
R106	Fin3	sensibile	353284	4784495	133
R106	Fin4	sensibile	353284	4784495	223
R110	Fin1	sensibile	353083	4784290	263
R110	Fin2	sensibile	353083	4784290	353
R110	Fin3	sensibile	353083	4784290	83
R110	Fin4	sensibile	353083	4784290	173
R111	Fin1	sensibile	353072	4784316	253
R111	Fin2	sensibile	353072	4784316	343
R111	Fin3	sensibile	353072	4784316	73
R111	Fin4	sensibile	353072	4784316	163
R112	Fin1	sensibile	352913	4784284	270
R112	Fin2	sensibile	352913	4784284	0
R112	Fin3	sensibile	352913	4784284	90
R112	Fin4	sensibile	352913	4784284	180
R114	Fin1	sensibile	352736	4784594	290
R114	Fin2	sensibile	352736	4784594	20
R114	Fin3	sensibile	352736	4784594	110
R114	Fin4	sensibile	352736	4784594	200
R116	Fin1	sensibile	352685	4784781	223
R116	Fin2	sensibile	352685	4784781	313
R116	Fin3	sensibile	352685	4784781	43
R116	Fin4	sensibile	352685	4784781	133
R117	Fin1	sensibile	352378	4785056	201
R117	Fin2	sensibile	352378	4785056	291
R117	Fin3	sensibile	352378	4785056	21

R117	Fin4	sensibile	352378	4785056	111
R119	Fin1	sensibile	352613	4785194	302
R119	Fin2	sensibile	352613	4785194	32
R119	Fin3	sensibile	352613	4785194	122
R119	Fin4	sensibile	352613	4785194	212
R134	Fin1	sensibile	350537	4786757	270
R134	Fin2	sensibile	350537	4786757	0
R134	Fin3	sensibile	350537	4786757	90
R134	Fin4	sensibile	350537	4786757	180
R135	Fin1	sensibile	350527	4786741	270
R135	Fin2	sensibile	350527	4786741	0
R135	Fin3	sensibile	350527	4786741	90
R135	Fin4	sensibile	350527	4786741	180
R136	Fin1	sensibile	349577	4785535	256
R136	Fin2	sensibile	349577	4785535	346
R136	Fin3	sensibile	349577	4785535	76
R136	Fin4	sensibile	349577	4785535	166

Tabella 3. – Elenco e direzione finestre per i ricettori

5. EFFETTO SHADOW-FLICKERING

Shadow-flickering è il fenomeno di ombreggiamento intermittente, caratterizzato dalle ombre che occorrono su strutture e osservatori in un determinato periodo del giorno in cui il sole si trova dietro al rotore dal punto di vista dell'osservatore. L'effetto è dovuto alla rotazione delle pale che proiettano un'ombra intermittente sul territorio circostante e sulle finestre delle case.

Questo effetto è più marcato nelle latitudini a nord durante i mesi invernali, per causa dell'angolo del sole. Tuttavia, è possibile che l'ombreggiamento intermittente accada in qualunque breve momento tra l'alba ed il tramonto. L'effetto di ombreggiamento intermittente può essere esperito dagli osservatori e strutture localizzate nelle vicinanze delle turbine eoliche.

Il fenomeno non accade in giorni nuvolosi, o quando qualsiasi altro fenomeno oscura il sole, o quando gli aerogeneratori non sono in funzionamento.

L'effetto è più visibile dall'interno degli edifici. L'ombra mobile del rotore si proietta sulle finestre di una casa creando all'interno della stessa un effetto fastidioso di alternanza luce ombra.

L'ombreggiamento intermittente e la sua durata dipendono da questi fattori:

- direzione della casa relativamente alla turbina
- distanza dalla turbina (quanto più lontano, più trascurabile)
- direzione del vento – la forma dell'ombra sarà determinata dalla posizione della pala in imbardata, che si muove in accordo con la direzione del vento
- altezza della turbina e diametro del rotore
- giorno e stagione dell'anno
- condizione meteorologiche (la presenza di nuvole riduce la luce diretta e perciò il rischio di ombreggiamento intermittente)

5.1. Premessa Metodologica

Le variabili utilizzate per la modellazione dell'effetto shadow-flickering includono:

- coordinate degli aerogeneratori
- coordinate dei ricettori selezionati
- i dati sugli aerogeneratori previsti nel layout – altezza, diametro del rotore
- la rosa dei venti
- l'orografia del terreno
- la percentuale oraria di illuminazione solare
- l'elevazione del sole. Se è inferiore a 2 gradi rispetto all'orizzonte l'effetto si annulla (dovuto allo scattering dell'atmosfera su gli angoli minori)
- la velocità del vento. L'effetto è stato considerato inesistente per vento inferiore o superiore alla velocità di generazione (creando così una stima più conservativa della quantità di tempo che i rotori sono in movimento)
- l'effetto di richiusura della luce a valle della pala. L'ombra è inesistente se la percentuale di sole "mascherato" dalla pala è inferiore a 20%, perché in questo caso l'ombra è trascurabile;

5.2. Il software previsionale WindFarm

Il modello di calcolo dell'ombreggiamento intermittente è stato condotto usando il software WindFarm 5, usato specificamente per la modellazione e valutazione dei progetti di parchi eolici.

Il modulo "Shadow flicker" di WindFarm calcola il numero di volte all'anno in cui il rotore, visualizzato da una finestra di una casa nelle vicinanze dell'aerogeneratore, è in linea con il sole e, quindi, accade l'effetto di ombreggiamento intermittente.

Il software WindFarm calcola, quindi, il numero di ore teoriche per anno in cui l'effetto shadow-flickering accade, in qualsiasi localizzazione entro una certa distanza delle turbine; in questo caso a 4km dal centro del parco eolico.

Il modello di calcolo di WindFarm considera le seguenti semplificazioni:

- il sole è sempre presente, in qualsiasi periodo dell'anno
- il sole può essere rappresentato da un unico punto
- il rotore gira di fronte all'osservatore e, quindi le pale delle turbine sono sempre perpendicolari alla direzione di visualizzazione dalla localizzazione del ricettore

Fattori che affettano la modellazione dell'effetto shadow-flickering

La durata dell'effetto shadow-flickering utilizzando questa metodologia sovrastima il numero di ore del fenomeno nella localizzazione del progetto per diverse ragioni:

1. La direzione di rotazione del rotore considerata è la più problematica. Qualsiasi orientazione del rotore riduce l'area in cui è proiettata l'ombra, e quindi, riduce la durata del fenomeno. La rosa dei venti del sito può essere utilizzata per determinare l'orientazione probabile del rotore e, quindi, calcolare la riduzione della durata dell'effetto di ombreggiamento intermittente.
2. Una giornata nuvolosa depotenzia il numero di ore in cui accade il fenomeno di shadow-flickering. I dati meteorologici della stazione più vicina possono essere usati per stimare la frequenza di nuvolosità e, dunque, fornire una indicazione di quanto venga ridotto l'effetto.
3. Aerosol, fumo, o umidità presenti nell'atmosfera possono influenzare l'ombreggiamento causato dall'aerogeneratori.
4. La lunghezza dell'ombra dipende dell'angolo di diffusione della incidenza diretta di sole che, invece, è dipendente della concentrazione di umidità, fumo e altri aerosol, che sono dispersi nell'atmosfera, tra la fonte e i ricettori.
5. La modellazione delle pale di dimensione uniforme, anziché della sua forma reale (più larga vicino alla torre e più sottile alla punta) risultano in una sovrastima della durata dell'ombreggiamento intermittente. Ciò deriva dal fatto che l'ombra causata per la parte più sottile della pala è meno lunga dell'ombra risultante dalla parte più larga.
6. La modellazione del sole come un punto, anziché in forma di un disco, risolta in una sovrastima della durata dell'effetto. La luce proveniente da diverse porzioni del sole si può sovrapporre attorno all'aerogeneratore risultando nella riduzione dell'ombreggiamento intermittente.
7. La analisi non considera che, quando il sole è posizionato direttamente dietro alla navicella della turbina eolica, non esiste variazione nella intensità di luce ricevuta al ricettore e quindi, non accade il fenomeno.
8. La presenza di vegetazione o altre barriere fisiche in torno al ricettore può funzionare come scudo alla visualizzazione della turbina eolica, e quindi, ridurre o annullare l'effetto.
9. I periodi di fermo per causa di bassa ventosità, o per manutenzione, riducono l'effetto shadow-flickering.

5.3. Stima degli impatti post-operam worst case

In tabella 5 sono riportati i risultati dell'analisi effettuata con il software WindFarm, indicati per ogni parete di ogni abitazione e per ogni ricettore abitativo.

Si è simulata la presenza di **quattro pareti per ogni ricettore**. I risultati per la detta finestra sono rappresentativi per tutto il fronte in cui è posizionata la finestra.

I risultati comprendono il numero di ore annue in cui si verifica il fenomeno della ombra intermittente.

5.4. Stima degli impatti post-operam real case

In tabella 5, insieme al worst case, sono riportati i risultati del real case, realizzato prendendo in riferimento i dati meteorologici del 2020 dal database PVGIS-SARAH2 e utilizzando dei criteri per determinare se le condizioni meteorologiche permettessero un'attuazione dell'effetto di shadow flickering.

I parametri usati per il calcolo sono:

Parametro	Valore
Anno di riferimento	2020
Luce diretta/totale massimo	50%
Tempo di campionamento	1h
Altezza ricettori	2 m
Modello DTM	Grid 20 m
Barriere	Non presenti

Tabella 4 – Parametri di configurazione per il calcolo

Ricettore/ Finestra	Tipo	Direzione (gradi)	SF Astronomico (worst case, h)	Real case 2020 (h)
2/1	sensibile	245	57,1	17,3
2/2	sensibile	335	0,0	0,0
2/3	sensibile	65	0,0	0,0
2/4	sensibile	155	64,1	17,3
3/1	sensibile	236	20,3	10,1
3/2	sensibile	326	0,0	0,0
3/3	sensibile	56	0,0	0,0
3/4	sensibile	146	20,2	10,0
6/1	sensibile	227	37,6	12,4
6/2	sensibile	317	34,9	12,2
6/3	sensibile	47	0,0	0,0
6/4	sensibile	137	2,7	0,2
7/1	sensibile	238	45,2	13,0
7/2	sensibile	328	36,9	12,0
7/3	sensibile	58	0,0	0,0
7/4	sensibile	148	8,4	0,5
9/1	sensibile	243	60,6	4,3
9/2	sensibile	333	34,4	4,3
9/3	sensibile	63	0,0	0,0
9/4	sensibile	153	26,0	0,0
10/1	sensibile	262	59,3	5,1
10/2	sensibile	352	0,0	0,0
10/3	sensibile	82	0,0	0,0
10/4	sensibile	172	59,6	5,1
11/1	sensibile	213	43,7	8,0

11/2	sensibile	303	43,9	8,0
11/3	sensibile	33	0,0	0,0
11/4	sensibile	123	0,0	0,0
14/1	sensibile	300	42,2	15,2
14/2	sensibile	30	0,0	0,0
14/3	sensibile	120	0,0	0,0
14/4	sensibile	210	42,1	15,2
15/1	sensibile	247	60,7	9,0
15/2	sensibile	337	20,1	0,1
15/3	sensibile	67	0,0	0,0
15/4	sensibile	157	40,4	8,5
16/1	sensibile	277	67,4	16,1
16/2	sensibile	7	17,7	0,0
16/3	sensibile	97	0,0	0,0
16/4	sensibile	187	49,4	16,1
18/1	sensibile	281	34,1	15,7
18/2	sensibile	11	2,4	0,0
18/3	sensibile	101	0,0	0,0
18/4	sensibile	191	31,5	15,6
19/1	sensibile	298	33,1	14,7
19/2	sensibile	28	0,0	0,0
19/3	sensibile	118	0,0	0,0
19/4	sensibile	208	32,9	14,6
21/1	sensibile	270	45,0	10,0
21/2	sensibile	0	45,1	10,0
21/3	sensibile	90	0,0	0,0
21/4	sensibile	180	0,0	0,0
25/1	sensibile	225	33,3	7,0
25/2	sensibile	315	0,0	0,0
25/3	sensibile	45	0,0	0,0
25/4	sensibile	135	33,2	7,0
27/1	sensibile	211	32,6	3,4
27/2	sensibile	301	32,6	3,4
27/3	sensibile	31	0,0	0,0
27/4	sensibile	121	0,0	0,0
29/1	sensibile	280	31,2	1,6
29/2	sensibile	10	0,0	0,0
29/3	sensibile	100	0,0	0,0
29/4	sensibile	190	31,3	1,6
30/1	sensibile	278	31,4	2,9
30/2	sensibile	8	0,0	0,0

30/3	sensibile	98	0,0	0,0
30/4	sensibile	188	31,4	2,9
33/1	sensibile	261	33,3	1,6
33/2	sensibile	351	0,0	0,0
33/3	sensibile	81	0,0	0,0
33/4	sensibile	171	33,3	1,6
50/1	sensibile	292	36,8	1,8
50/2	sensibile	22	0,0	0,0
50/3	sensibile	112	0,0	0,0
50/4	sensibile	202	35,9	1,8
51/1	sensibile	313	29,4	2,0
51/2	sensibile	43	0,0	0,0
51/3	sensibile	133	4,4	0,0
51/4	sensibile	223	33,8	2,0
52/1	sensibile	263	44,9	0,7
52/2	sensibile	353	0,0	0,0
52/3	sensibile	83	0,0	0,0
52/4	sensibile	173	44,8	0,7
54/1	sensibile	253	42,8	4,6
54/2	sensibile	343	0,0	0,0
54/3	sensibile	73	0,0	0,0
54/4	sensibile	163	42,6	4,6
55/1	sensibile	270	44,5	1,4
55/2	sensibile	0	0,0	0,0
55/3	sensibile	90	0,0	0,0
55/4	sensibile	180	44,3	1,4
56/1	sensibile	290	44,3	1,3
56/2	sensibile	20	0,0	0,0
56/3	sensibile	110	0,0	0,0
56/4	sensibile	200	44,2	1,3
94/1	sensibile	270	45,4	2,2
94/2	sensibile	0	31,2	0,0
94/3	sensibile	90	0,0	0,0
94/4	sensibile	180	14,0	2,1
95/1	sensibile	201	59,9	3,7
95/2	sensibile	291	60,5	3,7
95/3	sensibile	21	0,0	0,0
95/4	sensibile	111	0,0	0,0
96/1	sensibile	241	46,1	0,1
96/2	sensibile	331	46,1	0,1
96/3	sensibile	61	0,0	0,0

96/4	sensibile	151	0,0	0,0
100/1	sensibile	240	50,5	9,5
100/2	sensibile	330	50,0	9,5
100/3	sensibile	60	0,0	0,0
100/4	sensibile	150	0,0	0,0
102/1	sensibile	270	55,4	0,0
102/2	sensibile	0	23,4	0,0
102/3	sensibile	90	0,0	0,0
102/4	sensibile	180	31,8	0,0
103/1	sensibile	218	50,5	0,0
103/2	sensibile	308	50,6	0,0
103/3	sensibile	38	0,0	0,0
103/4	sensibile	128	0,0	0,0
106/1	sensibile	270	45,6	0,7
106/2	sensibile	0	12,6	0,0
106/3	sensibile	90	0,0	0,0
106/4	sensibile	180	32,8	0,7
110/1	sensibile	234	63,2	2,8
110/2	sensibile	324	63,2	2,8
110/3	sensibile	54	0,0	0,0
110/4	sensibile	144	0,0	0,0
111/1	sensibile	239	62,2	2,7
111/2	sensibile	329	48,0	0,4
111/3	sensibile	59	0,0	0,0
111/4	sensibile	149	14,2	2,3
112/1	sensibile	270	61,2	6,2
112/2	sensibile	0	18,4	0,0
112/3	sensibile	90	0,0	0,0
112/4	sensibile	180	42,4	6,2
114/1	sensibile	270	40,2	13,3
114/2	sensibile	0	1,5	0,0
114/3	sensibile	90	0,0	0,0
114/4	sensibile	180	38,6	13,3
116/1	sensibile	241	68,2	8,8
116/2	sensibile	331	18,9	0,3
116/3	sensibile	61	0,0	0,0
116/4	sensibile	151	49,2	8,5
117/1	sensibile	247	30,7	8,5
117/2	sensibile	337	12,1	2,8
117/3	sensibile	67	0,0	0,0
117/4	sensibile	157	18,5	5,7

119/1	sensibile	225	64,4	4,9
119/2	sensibile	315	48,0	0,0
119/3	sensibile	45	0,0	0,0
119/4	sensibile	135	16,4	5,3
134/1	sensibile	218	42,5	12,9
134/2	sensibile	308	0,0	0,0
134/3	sensibile	38	0,0	0,0
134/4	sensibile	128	42,5	13,0
135/1	sensibile	214	43,3	13,1
135/2	sensibile	304	0,0	0,0
135/3	sensibile	34	0,0	0,0
135/4	sensibile	124	43,3	13,1
136/1	sensibile	270	0,0	0,0
136/2	sensibile	0	14,6	7,7
136/3	sensibile	90	66,1	28,4
136/4	sensibile	180	51,1	20,6

Tabella 5 - Confronto tra i risultati del ‘Worst case’ e del ‘Real case’

Per la maggior parte delle pareti considerate, il fenomeno di flickering è contenuto. Ciò deriva dal fatto che il fenomeno è maggiormente evidente nelle ore mattutine e serali della giornata, quando il sole è molto basso sull’orizzonte, e quindi le ombre si allungano, in particolare nella direzione verso nord-ovest al mattino (sole a sud-est) e nella direzione sud-est alla sera (sole a nord-ovest). Pertanto, le finestre delle abitazioni o masserie principalmente soggette ad effetto di presenza di ombra intermittente sono quelle più vicine all’impianto e localizzate su un allineamento ovest – est rispetto all’impianto stesso.

Nell’appendice A vi sono i diagrammi per tutti i ricettori

Da ultimo, il fenomeno di ombreggiamento intermittente è più frequente nelle prime ore del mattino, nei mesi estivi.

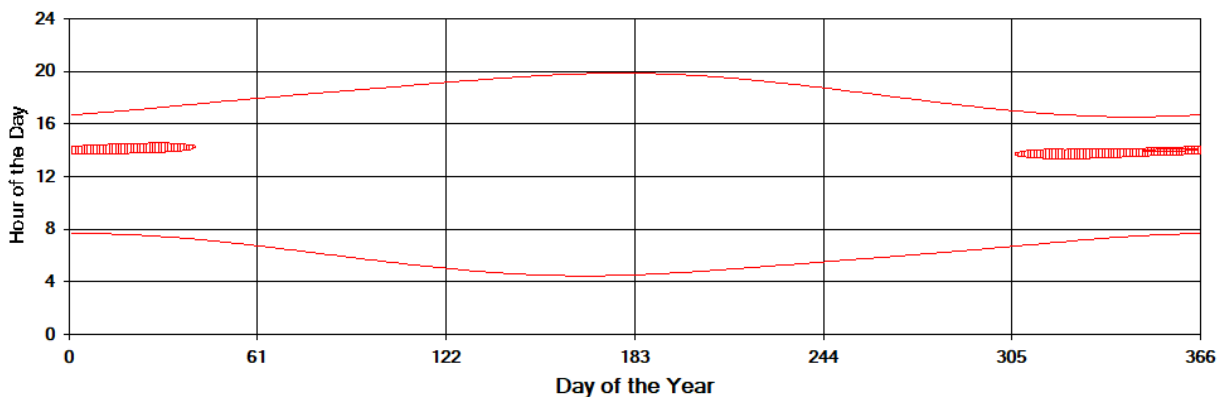
5.5. Mitigazioni degli impatti

Nel valutare i risultati bisogna considerare che l’aerogeneratore è in rotazione per un tempo limitato e sostanzialmente solo se il vento supera le condizioni di cut-in. Inoltre, le condizioni di insolazione con luce diretta sono limitate anche esse ad una porzione del tempo totale. Considerando queste due situazioni congiuntamente si riduce fortemente il tempo in cui il disagio si manifesta. Se però si dovesse manifestare la necessità di ulteriori mitigazioni esiste la possibilità di mascherare l’aerogeneratore che causa l’effetto attraverso l’inserimento di vegetazione. Al fine di ridurre l’effetto, la vegetazione dovrà essere installata relativamente vicino al ricettore, in modo tale di impedire la vista della turbina dalla finestra colpita.

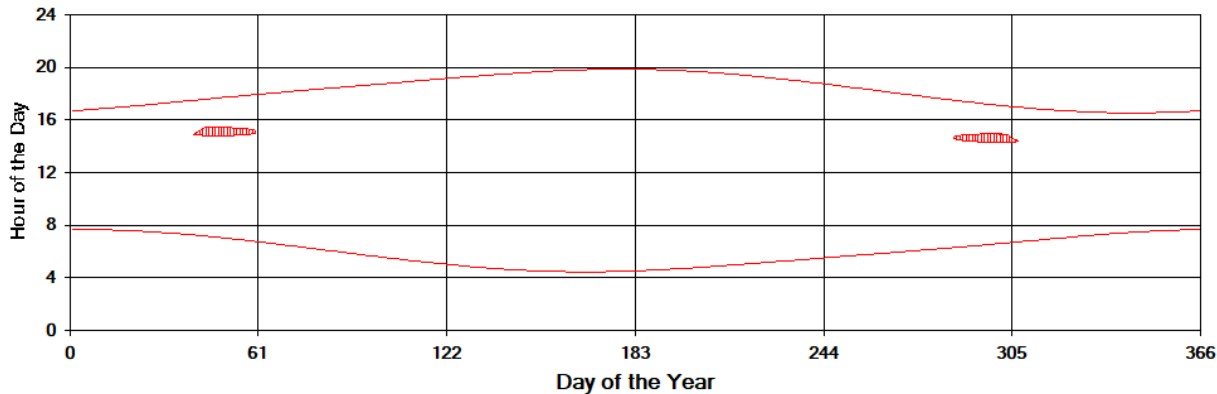
6. APPENDICE A – DIAGRAMMI RICETTORI / FINESTRE

Le immagini rappresentano i periodi dell'anno e le ore del giorno in cui geometricamente il sole potrebbe creare l'effetto sulla finestra della casa. Non vengono considerate in questa né la probabilità di funzionamento della turbina, né probabilità che vi sia luce diretta sufficiente a creare l'effetto.

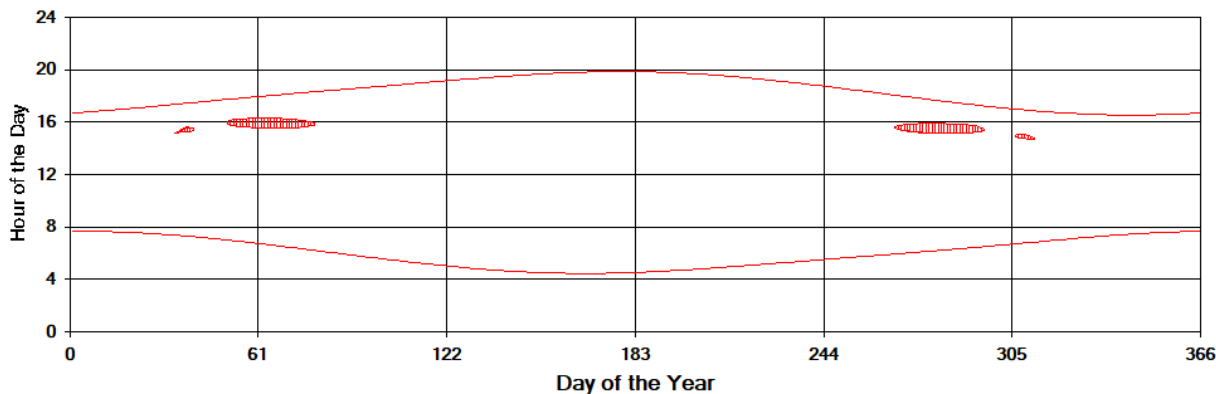
Shadow Times on House 2, All Windows from All Turbines



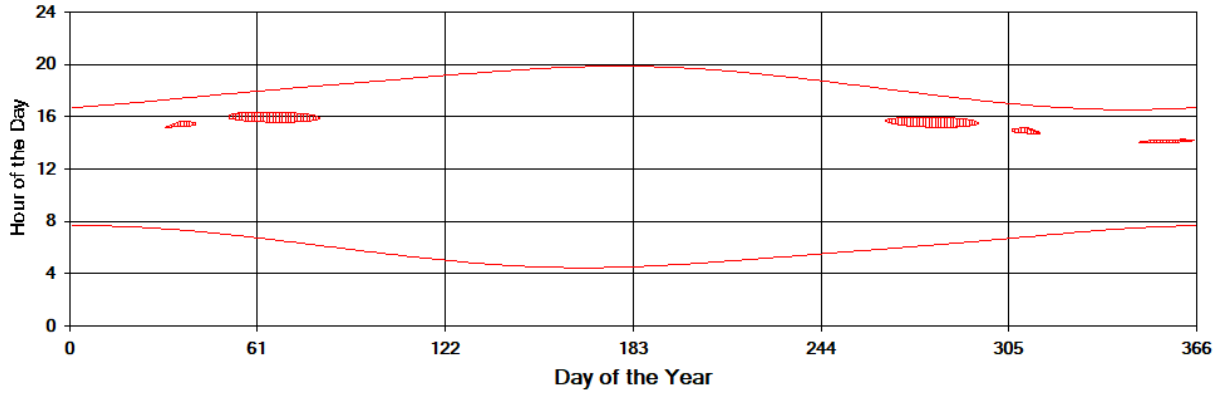
Shadow Times on House 3, All Windows from All Turbines



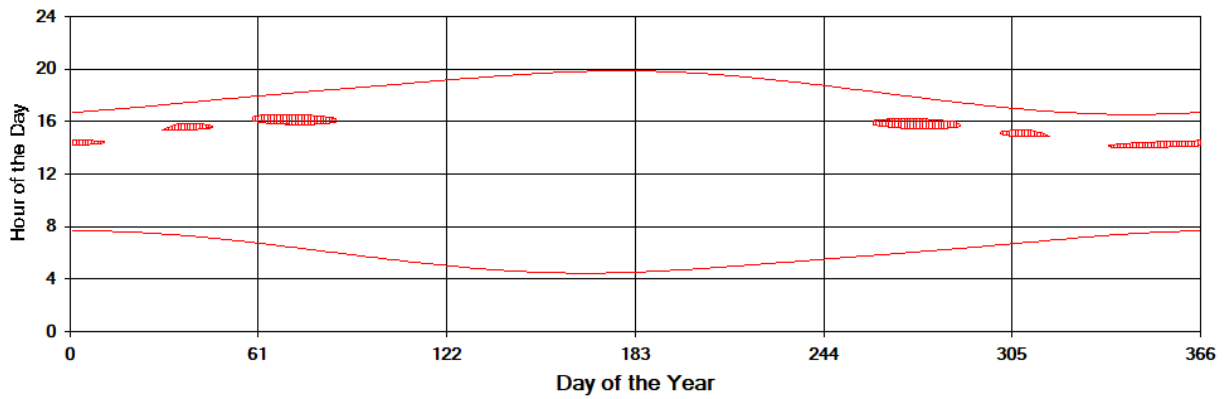
Shadow Times on House 6, All Windows from All Turbines



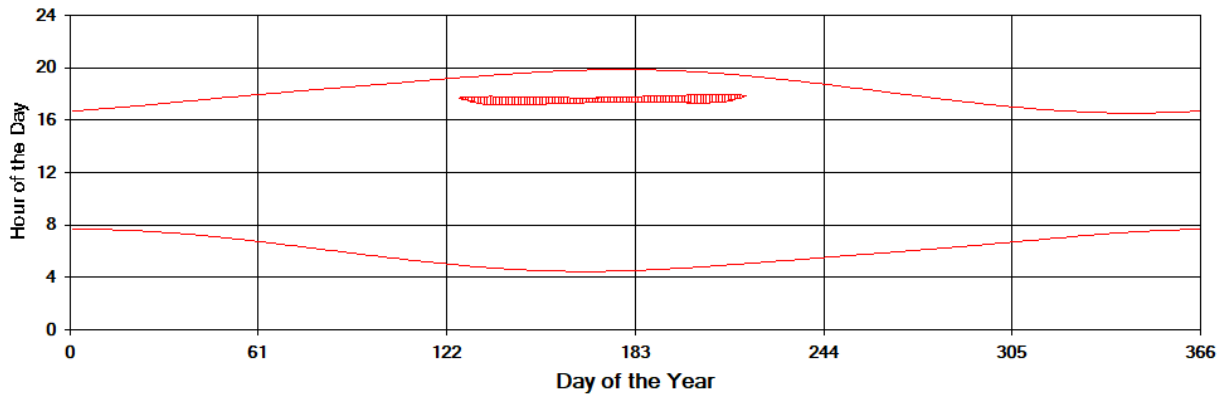
Shadow Times on House 7, All Windows from All Turbines



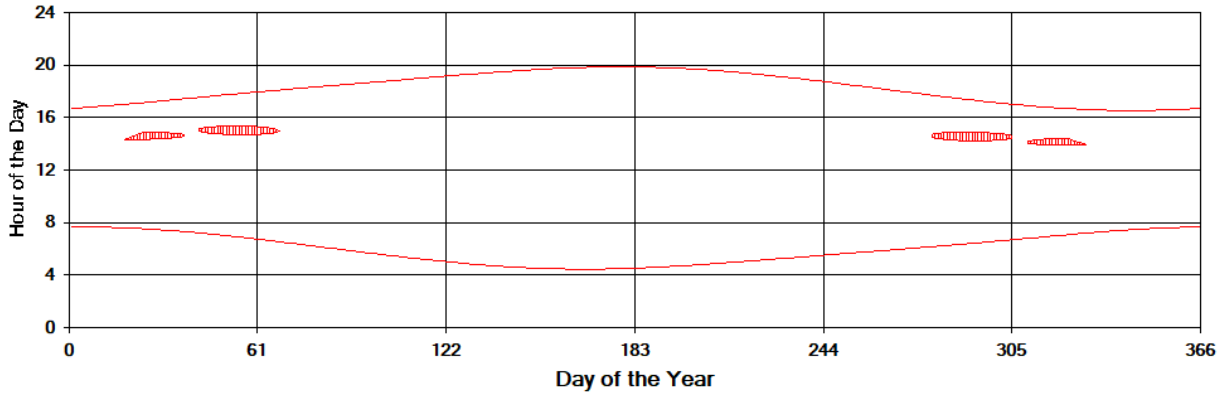
Shadow Times on House 9, All Windows from All Turbines



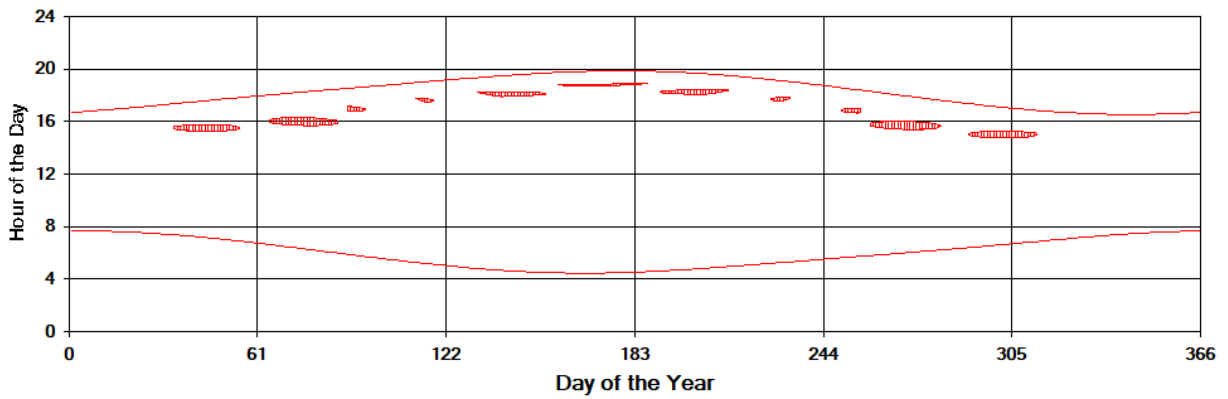
Shadow Times on House 11, All Windows from All Turbines



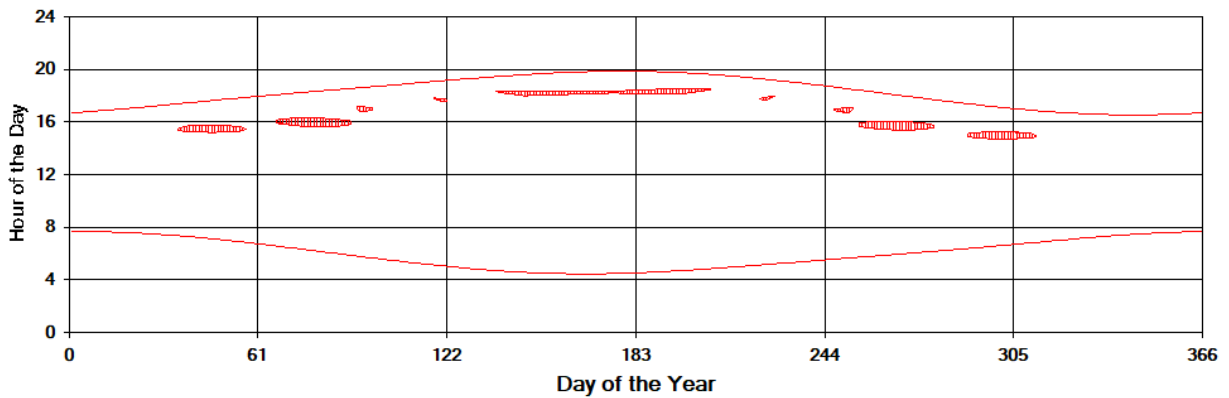
Shadow Times on House 14, All Windows from All Turbines



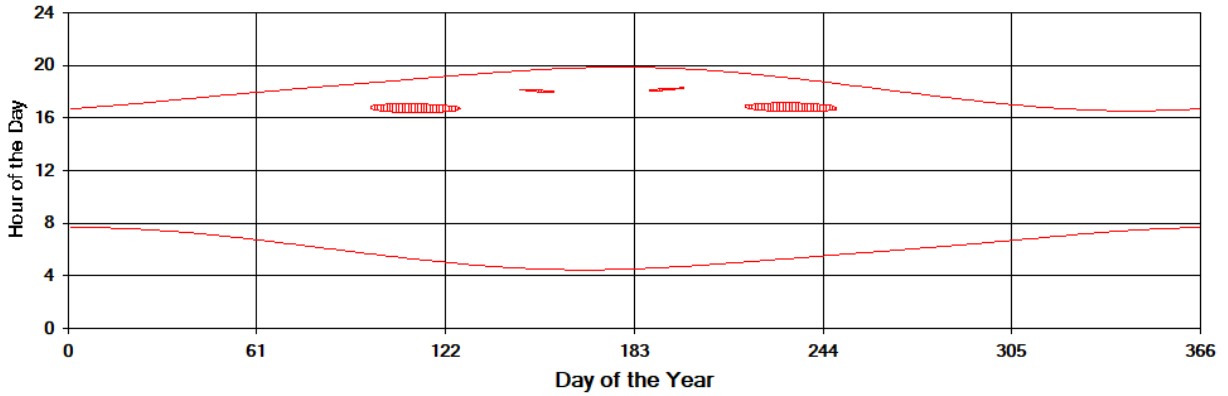
Shadow Times on House 15, All Windows from All Turbines



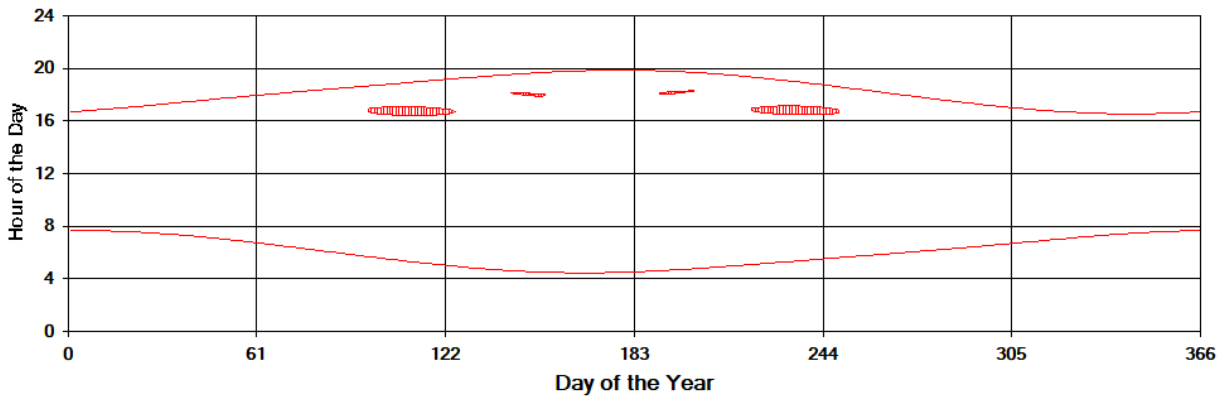
Shadow Times on House 16, All Windows from All Turbines



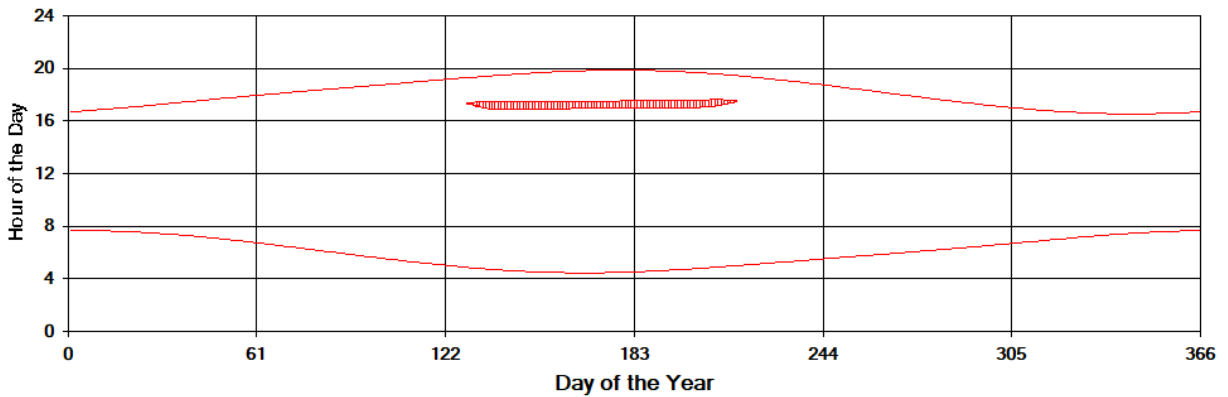
Shadow Times on House 18, All Windows from All Turbines



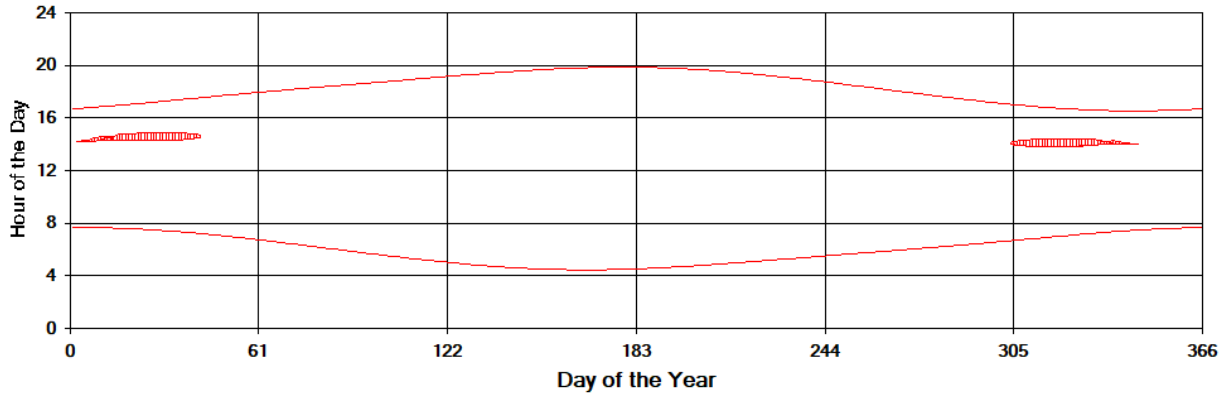
Shadow Times on House 19, All Windows from All Turbines



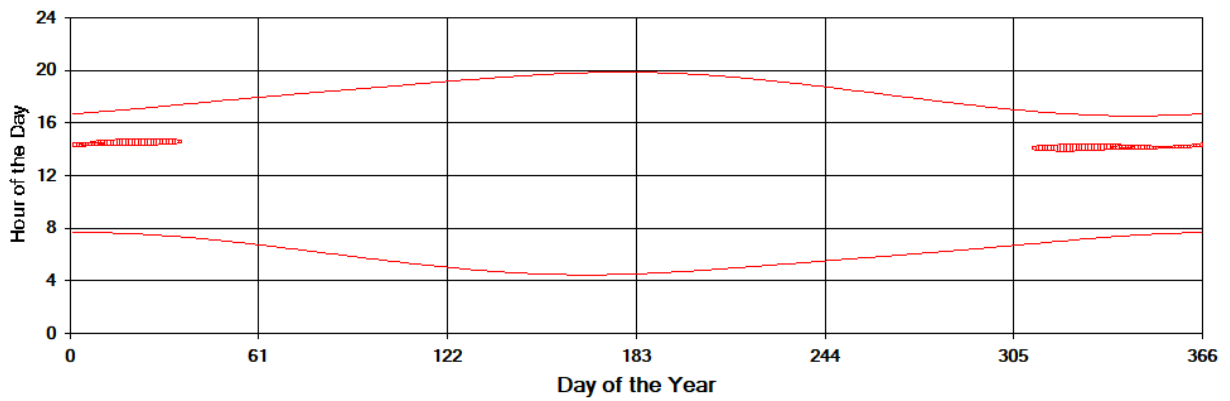
Shadow Times on House 21, All Windows from All Turbines



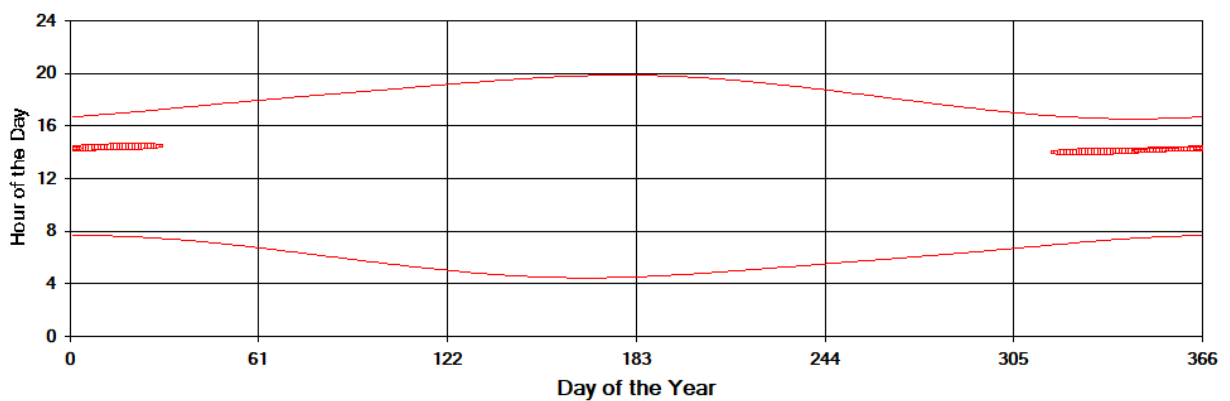
Shadow Times on House 25, All Windows from All Turbines



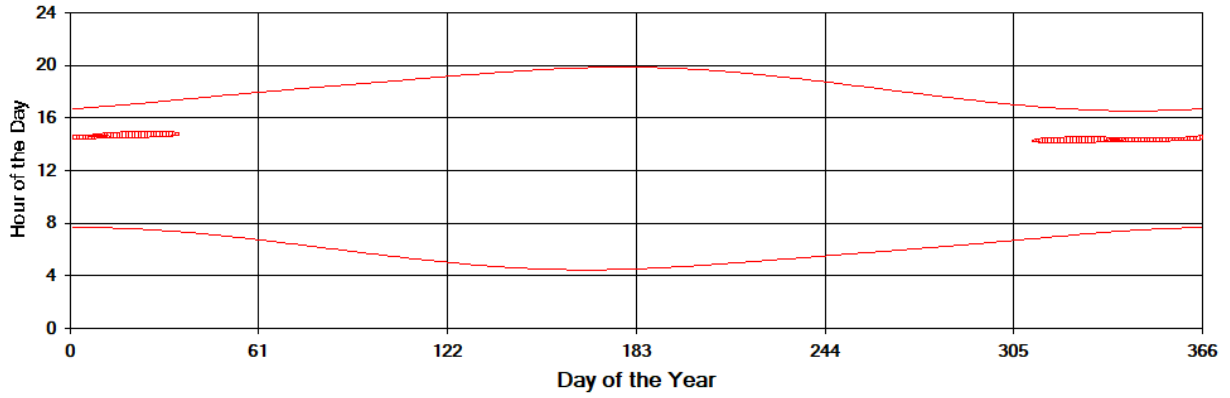
Shadow Times on House 27, All Windows from All Turbines



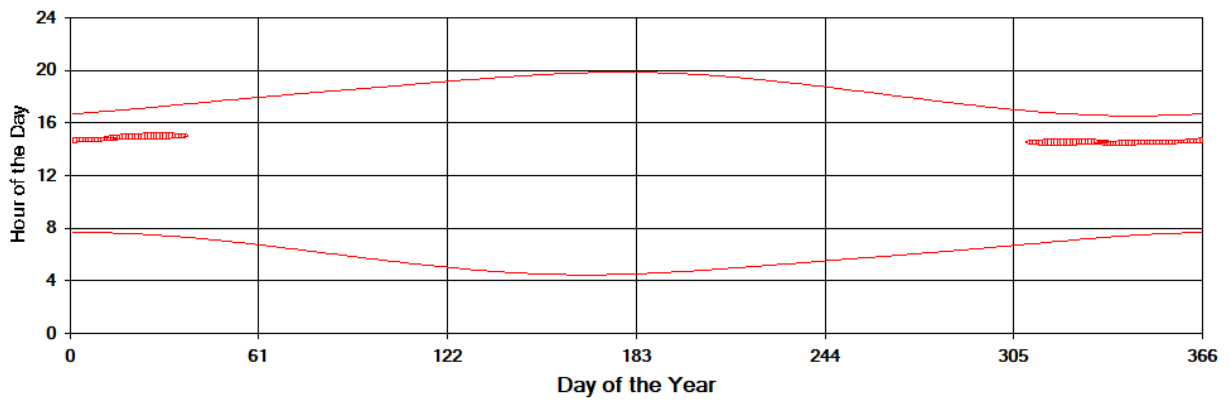
Shadow Times on House 29, All Windows from All Turbines



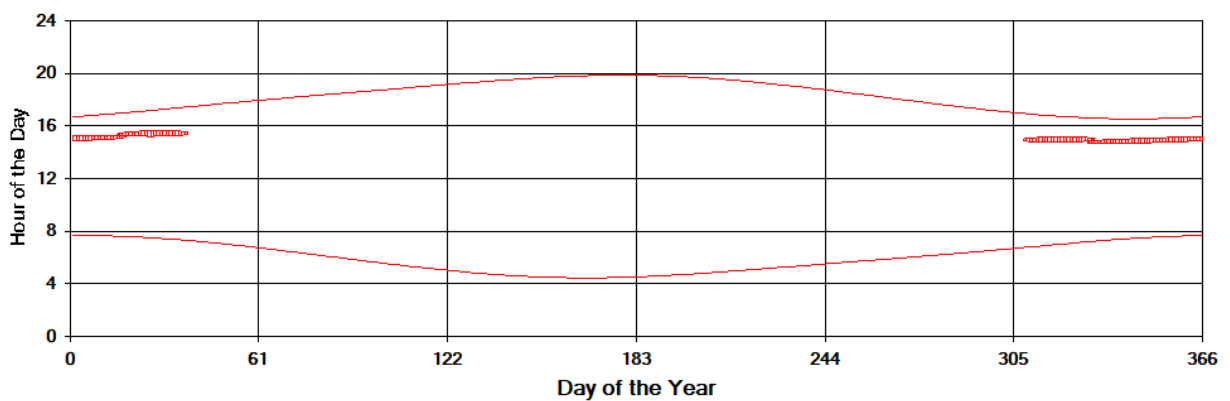
Shadow Times on House 30, All Windows from All Turbines



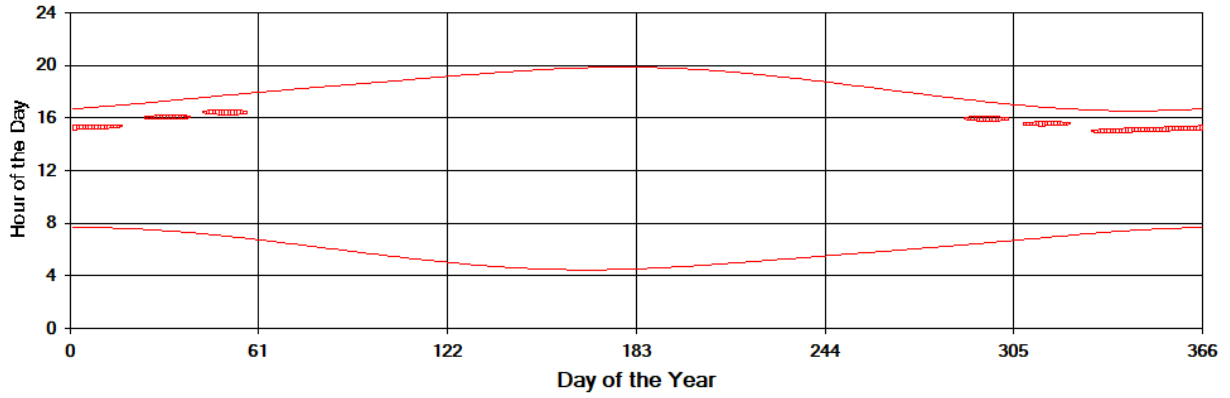
Shadow Times on House 33, All Windows from All Turbines



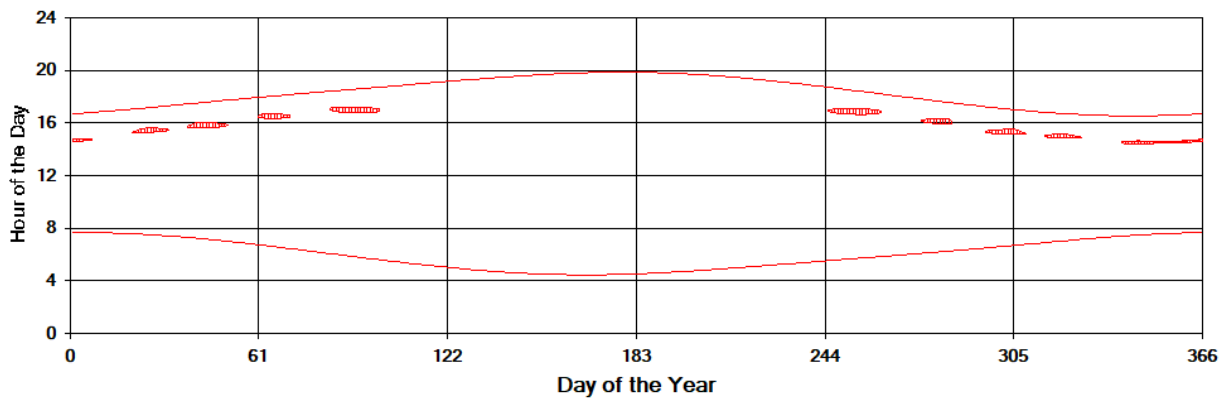
Shadow Times on House 34, All Windows from All Turbines



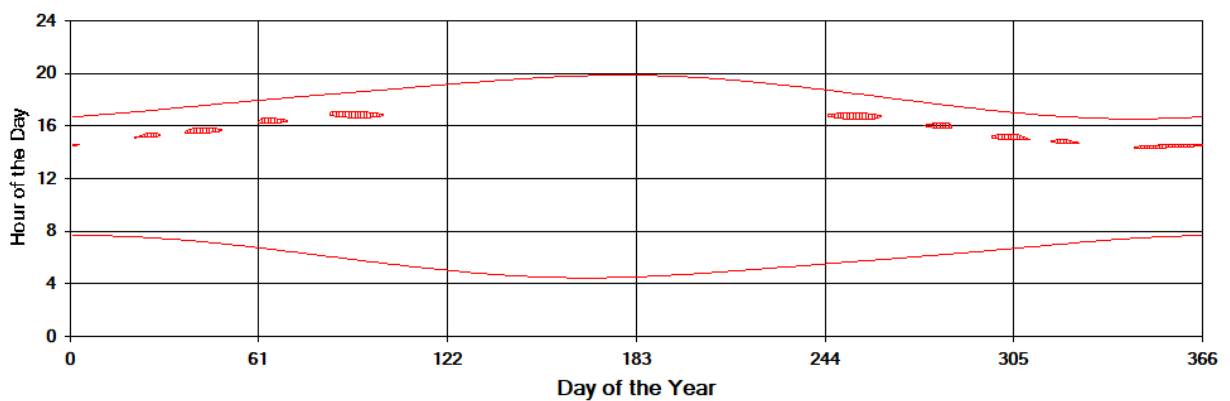
Shadow Times on House 36, All Windows from All Turbines



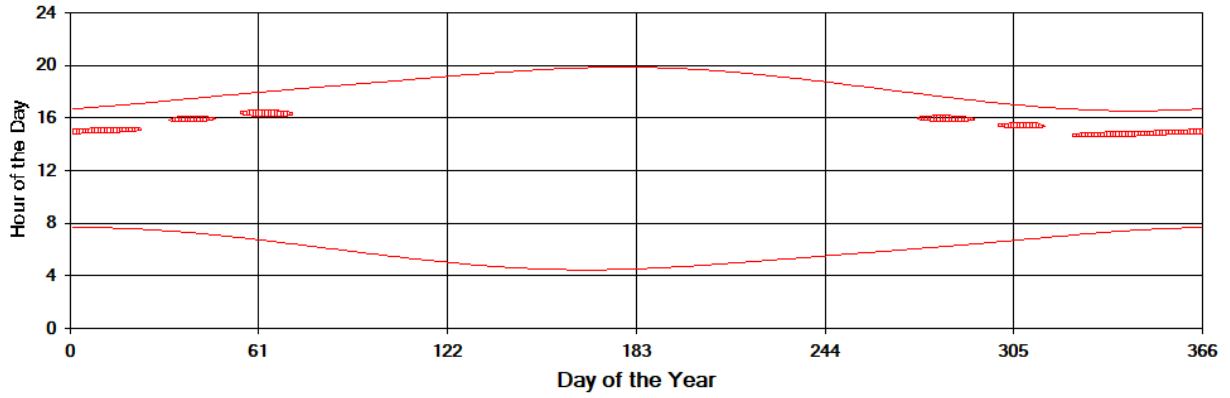
Shadow Times on House 50, All Windows from All Turbines



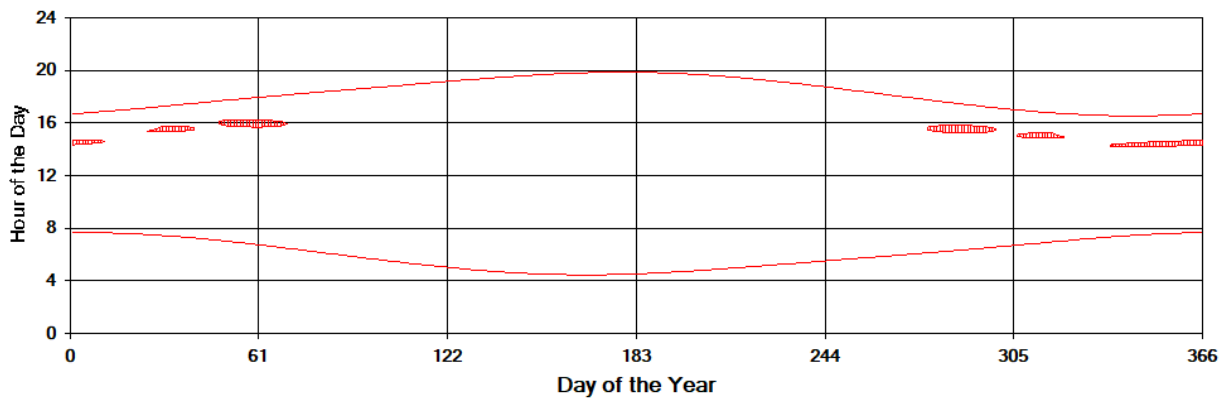
Shadow Times on House 51, All Windows from All Turbines



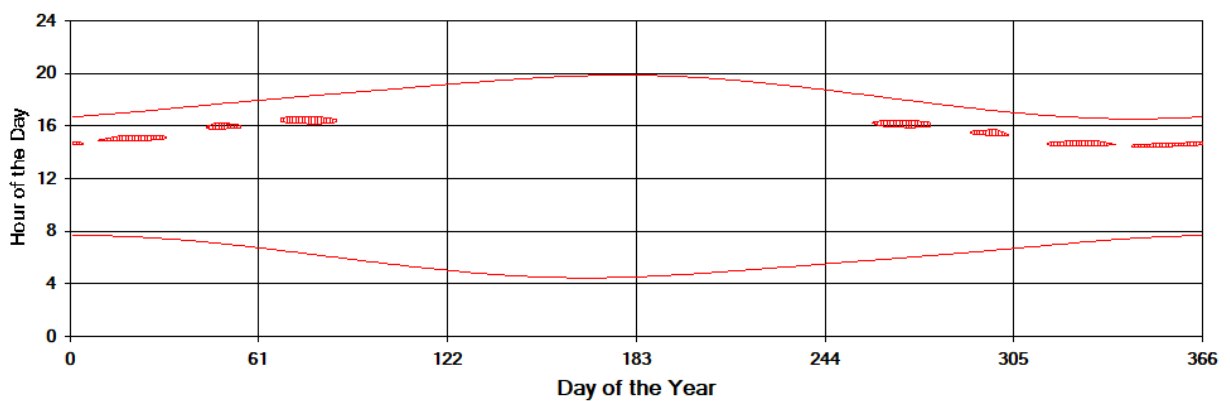
Shadow Times on House 52, All Windows from All Turbines



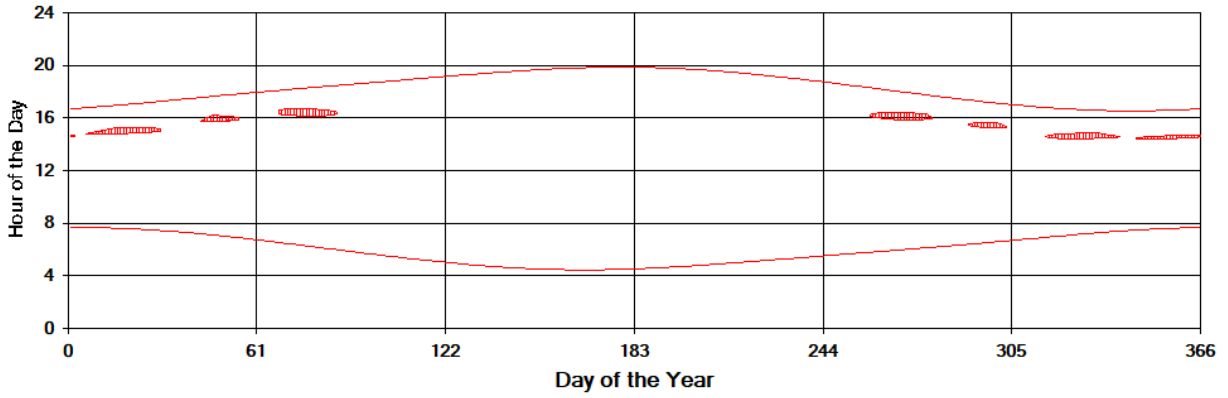
Shadow Times on House 54, All Windows from All Turbines



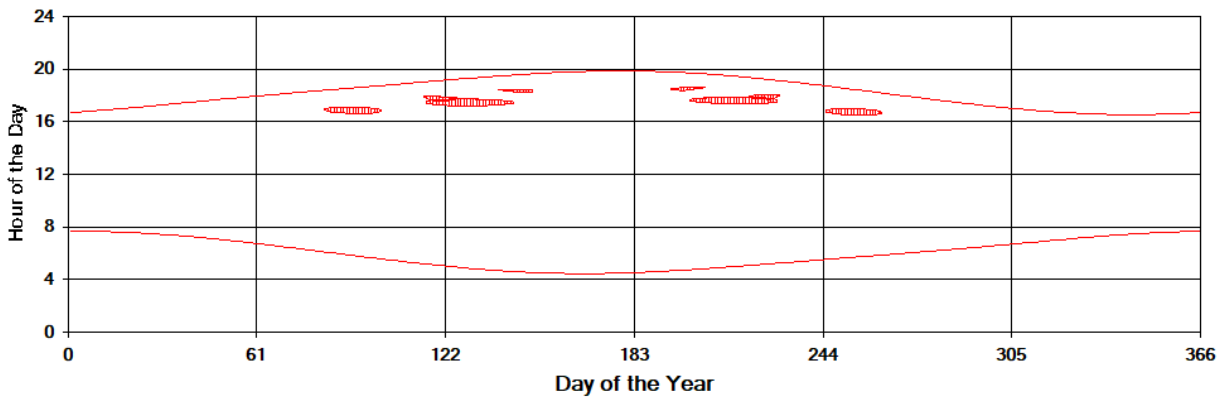
Shadow Times on House 55, All Windows from All Turbines



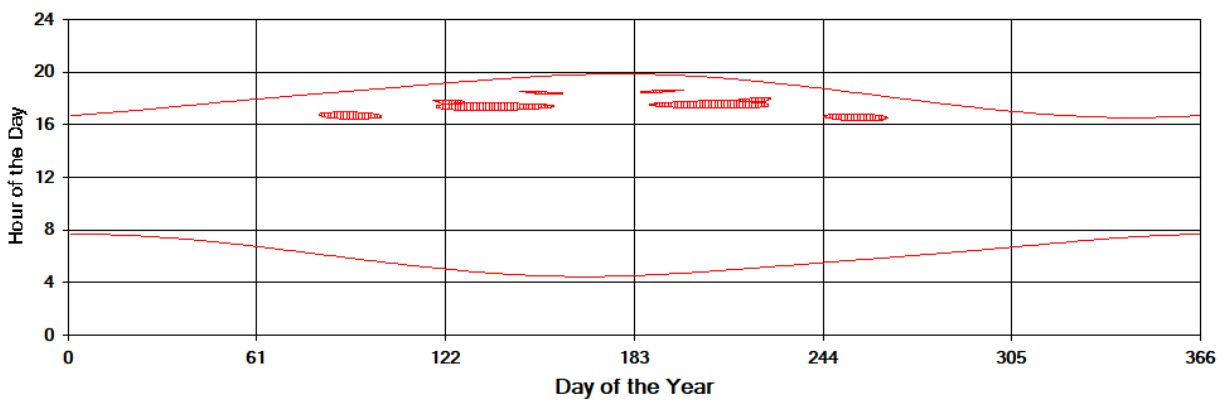
Shadow Times on House 56, All Windows from All Turbines



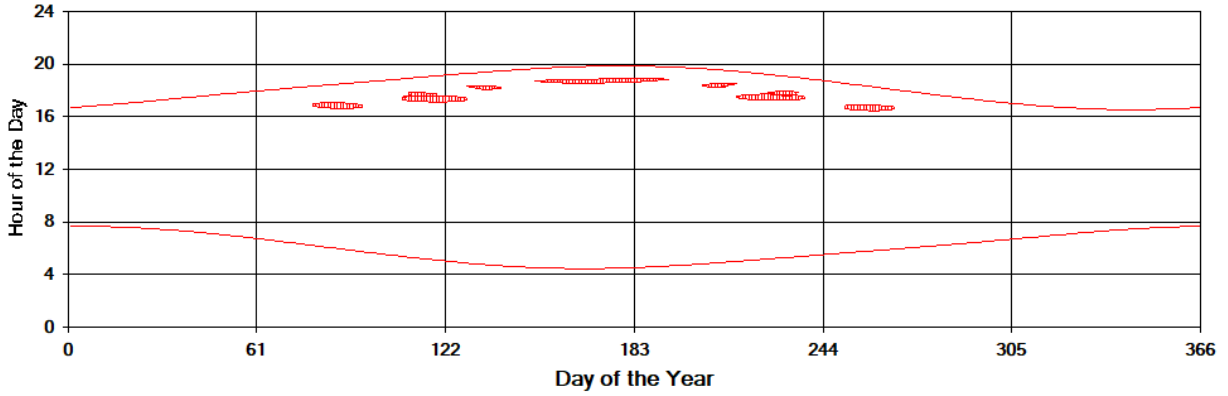
Shadow Times on House 94, All Windows from All Turbines



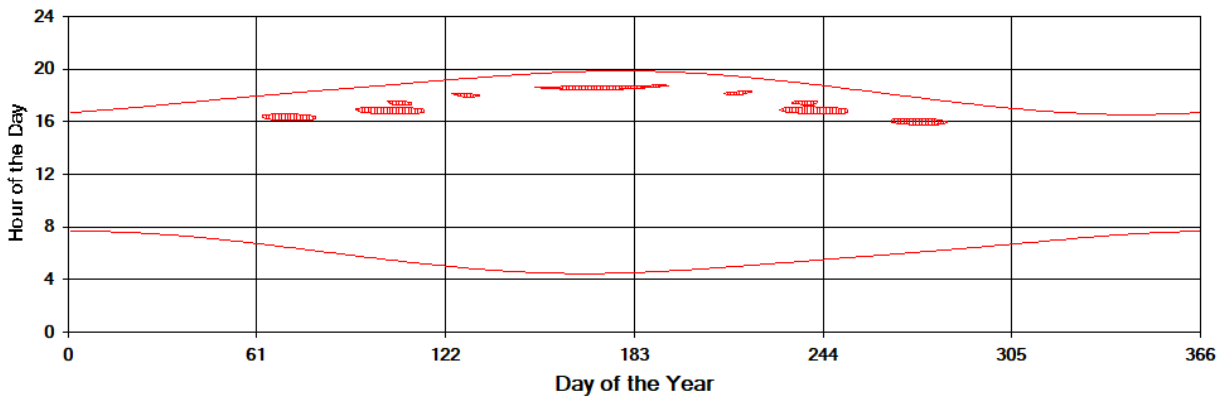
Shadow Times on House 95, All Windows from All Turbines



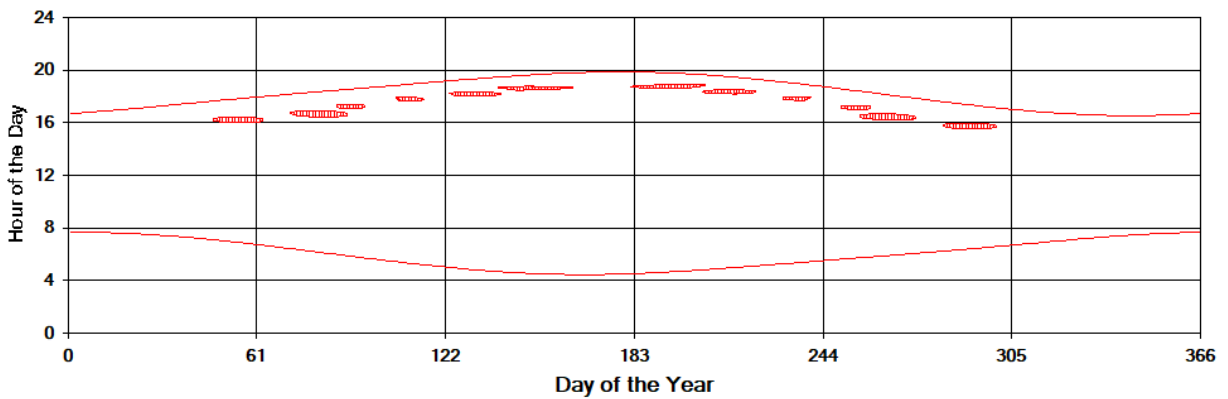
Shadow Times on House 96, All Windows from All Turbines



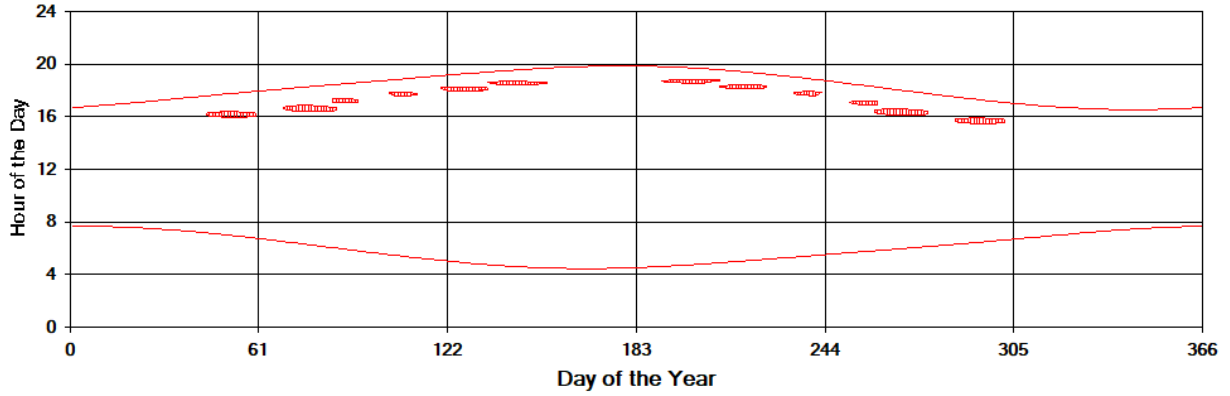
Shadow Times on House 100, All Windows from All Turbines



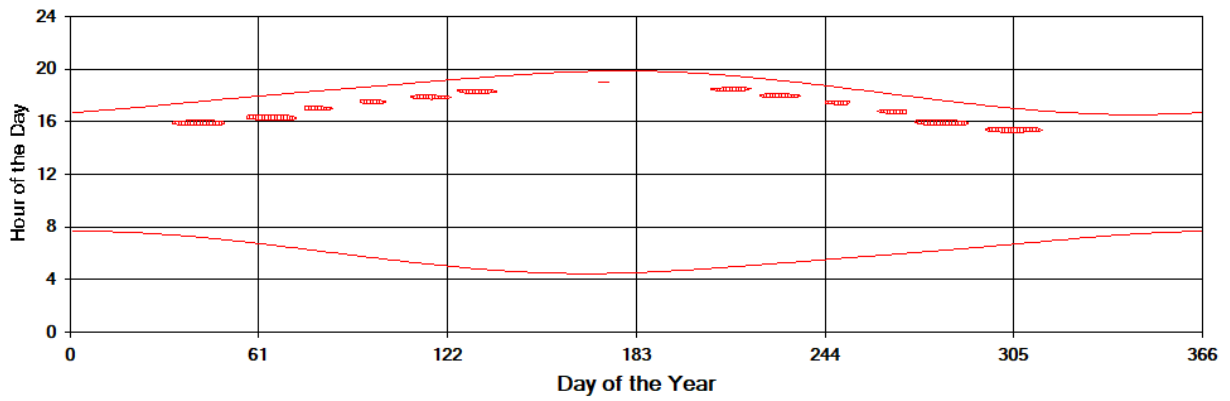
Shadow Times on House 102, All Windows from All Turbines



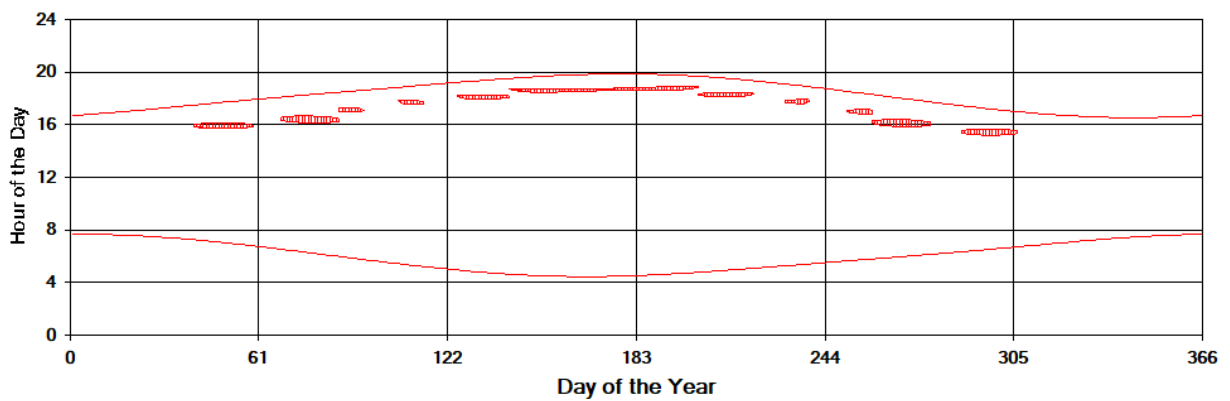
Shadow Times on House 103, All Windows from All Turbines



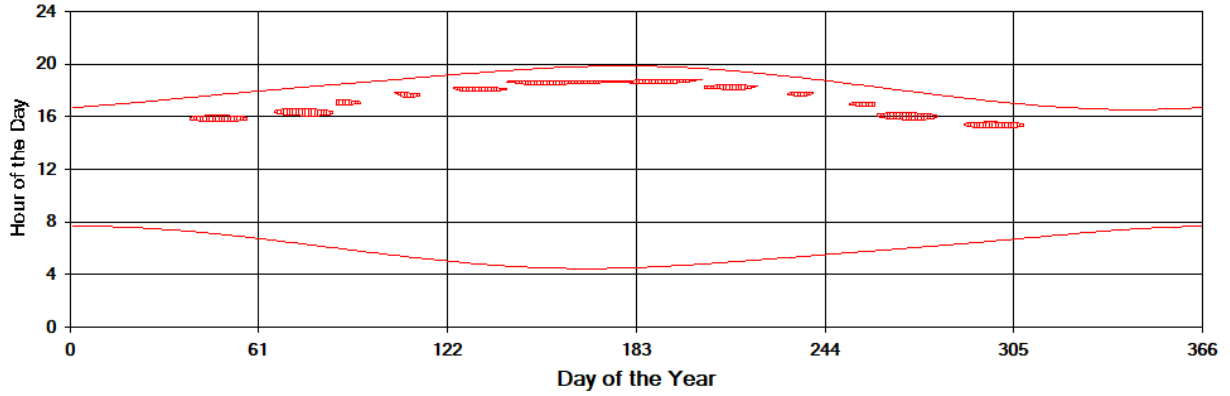
Shadow Times on House 106, All Windows from All Turbines



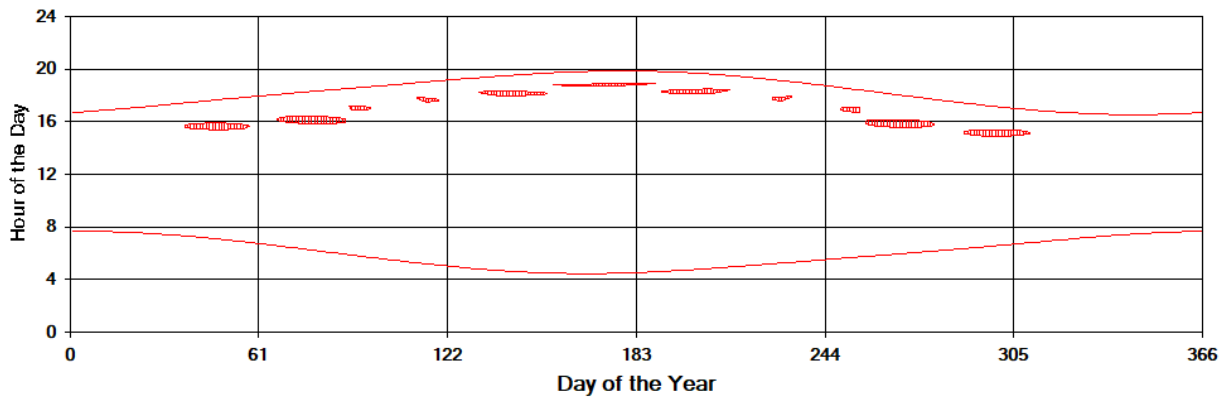
Shadow Times on House 110, All Windows from All Turbines



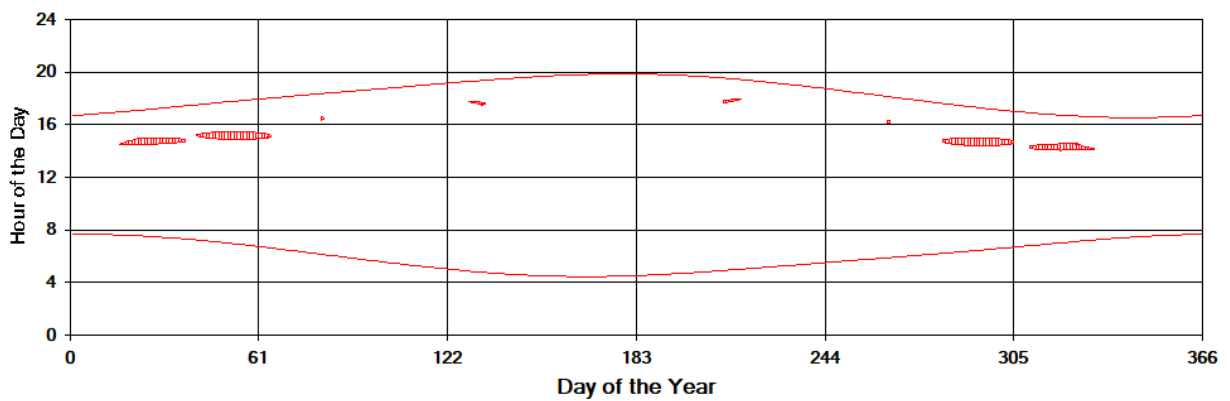
Shadow Times on House 111, All Windows from All Turbines



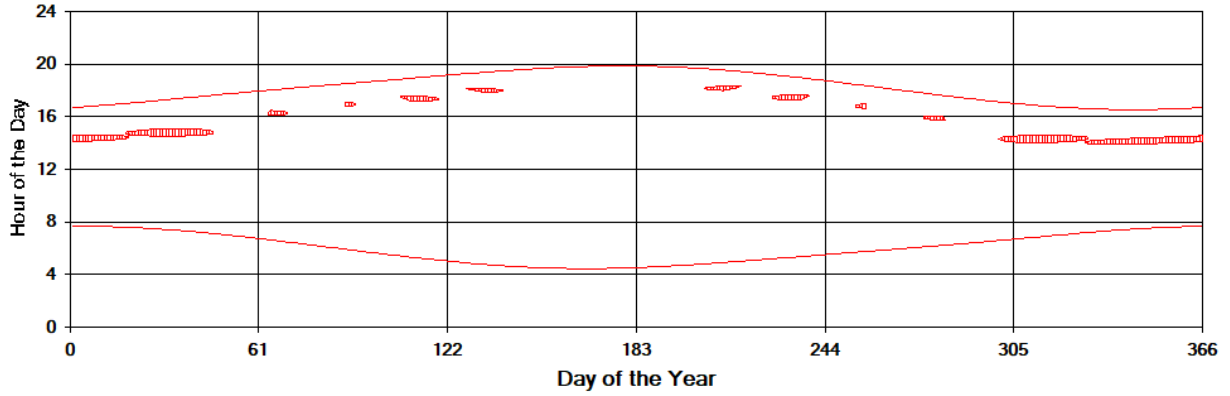
Shadow Times on House 112, All Windows from All Turbines



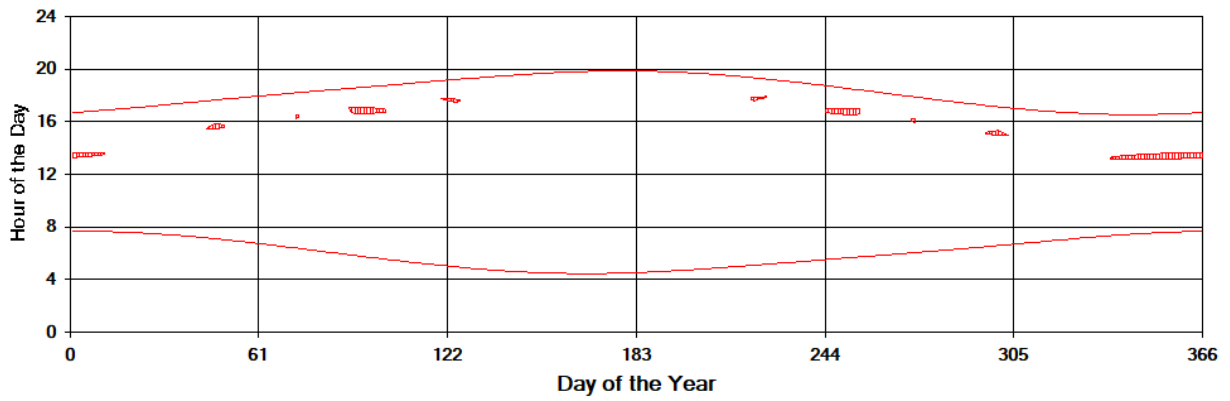
Shadow Times on House 114, All Windows from All Turbines



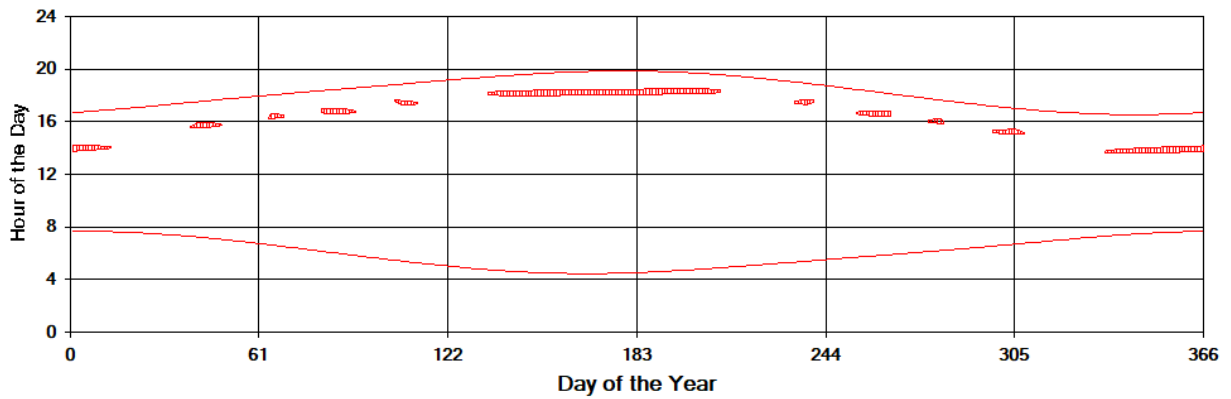
Shadow Times on House 116, All Windows from All Turbines



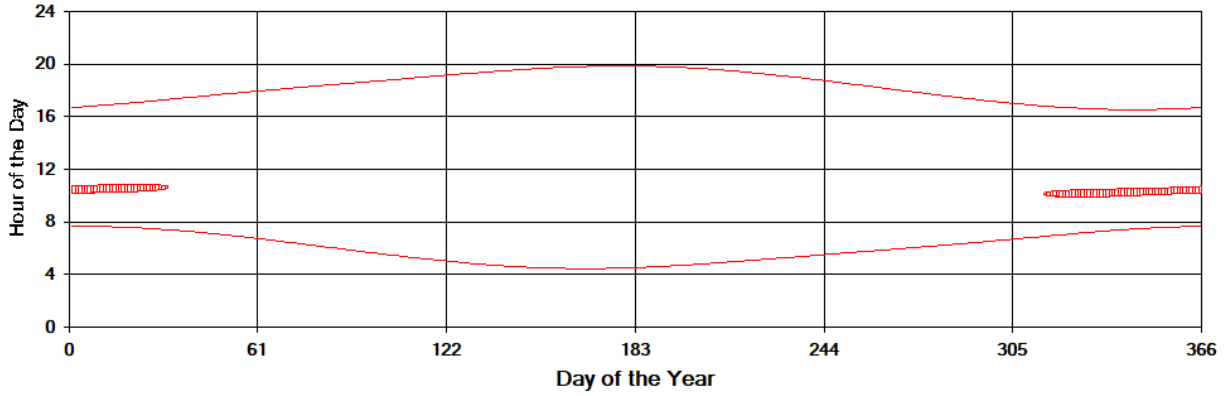
Shadow Times on House 117, All Windows from All Turbines



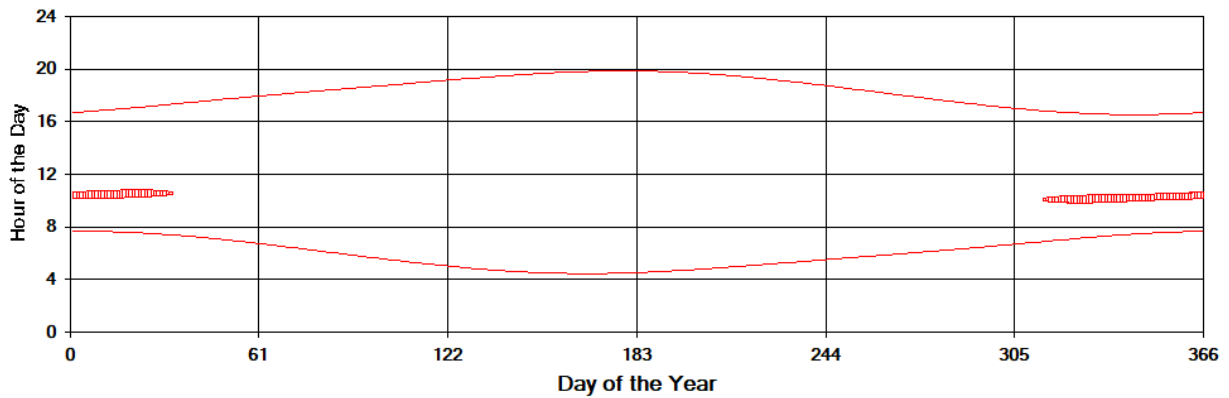
Shadow Times on House 119, All Windows from All Turbines



Shadow Times on House 134, All Windows from All Turbines



Shadow Times on House 135, All Windows from All Turbines



Shadow Times on House 136, All Windows from All Turbines

