



REGIONE MOLISE



CITTA' METROPOLITANA  
DI CAMPOBASSO



COMUNE di  
GUGLIONESI



COMUNE di  
LARINO

# PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO COMPOSTO DA 8 AEROGENERATORI DA 6.0 MW PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 48 MW SITO NEL COMUNE DI GUGLIONESI (CB) CON OPERE DI CONNESSIONE IN LARINO (CB)



Proponente	 <p><b>GRV SOLAR CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> via Durini, 9 - 20122 Milano grvsolarcampobasso4@legalmail.it</p>			
Progettazione	 <p><i>Viale Michelangelo, 71</i> <b>80129 Napoli</b> TEL.081 579 7998 mail: tecnico@insesrl.it</p>		<p>Collaboratori: Geol. V.E.Iervolino Dott. A. Ianiro Ing. V. Triunfo Arch. C. Gaudiero Geom. F. Malafarina Arch. M. Mauro Ing. F. Quarto Arch. Mariangela Perillo</p> <p>Amm. Francesco Di Maso Ing. Nicola Galdiero Ing. Pasquale Esposito</p>	
Elaborato	<p>Nome Elaborato:</p> <p><b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)</b></p>			
				
00	Settembre 2022	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl 17962 Solar Campobasso 4 srl
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica <input type="checkbox"/> Approvazione <input checked="" type="checkbox"/>
Scala:	--			
Formato:	<b>A4</b>	Codice Pratica <b>S269</b>	Codice Elaborato	<b>AS269-SI08-R</b>

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	Rev. 00

## 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 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>10</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>20</b>

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	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). **Nella fattispecie i generatori utilizzati raggiungono una velocità di rotazione massima di 10 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.

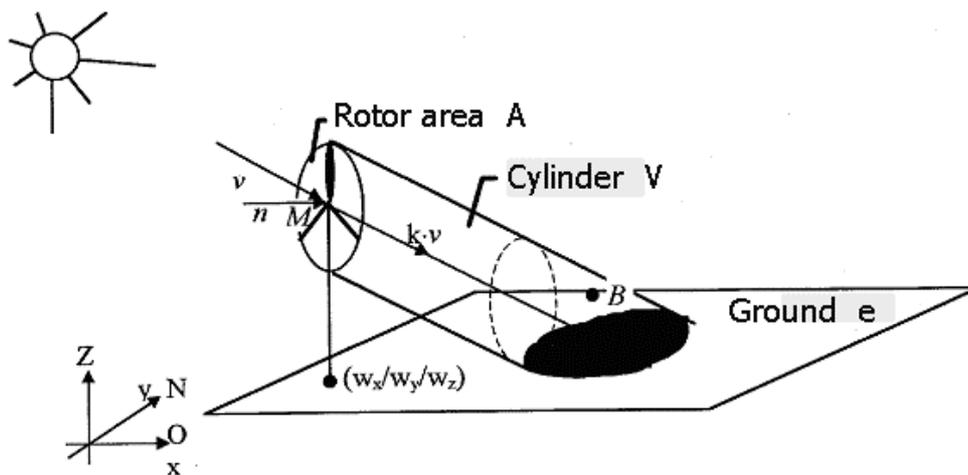


Figura 1 – Proiezione della turbina sul terreno

La figura successiva riporta l'evoluzione annuale dell'ombra di una turbina considerando il caso peggiore, che si manifesta nel momento in cui una pala sia sempre in rotazione intorno al mozzo, e orientate sempre ortogonalmente al sole durante la sua evoluzione giornaliera. Come si può evincere dal grafico, le ore annue di ombra sono sempre minori con l'aumentare della distanza dalla torre secondo una particolare geometria dettata dalla posizione geografica; da osservare che l'ombra arriva a proiettarsi anche sino ad una distanza di 1000m, anche se solo per pochi minuti all'anno.

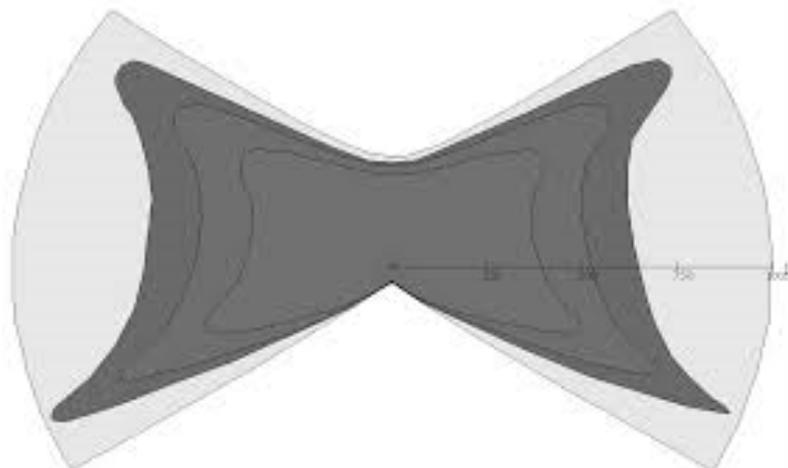


Figura 2 - Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	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 Guglionesi (CB) nel territorio della Regione Molise. 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 115 m per un'altezza complessiva di 200 metri.

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

ID WTG	Coordinate WGS 84 UTM33		Quote e misure				
	Long. EST (m)	Long. NORD (m)	Altitudine (m s.l.m.)	Modello WTG	Altezza mozzo (m)	Altezza TIP (m)	Altezza TIP (m s.l.m.)
GU01	488157.55	4642284.17	136	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	336
GU02	488546.12	4641890.36	145	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	345
GU03	489267,85	4641234,96	137	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	337
GU04	489758.98	4642171.64	116	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	316
GU05	492460.04	4642886.12	129	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	329
GU06	493639.00	4644274.00	89	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	289
GU07	493343.00	4645425.00	115	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	315
GU08	492830.84	4645352.00	135	SIEMENS Gamesa 6.0-170	115	200	335

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.

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	Rev. 00

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

1. Angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento = 2°
2. Distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina = 1,5 km. – Ricettori individuati fino ad un raggio di 1000 m dalle turbine
3. Statistica di probabilità mensile di presenza di sole dedotta (descritta in seguito)
4. Curve di livello
5. Modello delle turbine

In relazione al punto 1 il valore di 2° 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 1,0 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 1,0 Km in questo calcolo è stata effettuata per poterci inserire nel caso peggiorativo. La cartografia allegata mostra l'ombreggiamento ad una distanza di 1,5 km e i ricettori, sensibili e non, ad una distanza di 1 km oltre la quale distanza il fenomeno è trascurabile.

In relazione al punto 3 la statistica di probabilità mensile di presenza del sole è stata dedotta da una stazione meteorologica più vicina in cui sono state reperiti dati di soleggiamento (Stazione di Teramo-cfr. "Reparto di Sperimentazioni di Meteorologia Aeronautica- **La radiazione solare globale e la durata del soleggiamento in Italia dal 1991 al 2010**") 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	3,41	105,71	744	14,21
Febbraio	4,66	130,48	672	19,42
Marzo	5,91	183,21	744	24,63
Aprile	6,78	203,4	720	28,25
Maggio	8,28	256,68	744	34,50
Giugno	9,46	283,8	720	39,42
Luglio	10,38	321,78	744	43,25
Agosto	9,58	296,98	744	39,92
Settembre	7,22	216,6	720	30,08
Ottobre	5,54	171,74	744	23,08

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>			AS 269-SIA08-R			
				Data Settembre-2022		Rev. 00	

Novembre	3,85	115,5	720	16,04
Dicembre	3,15	97,65	744	13,13
TOT		2384	8760	27,16

Tabella 2 - Ore di soleggiamento mensile

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 "tipo" 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.

Il fenomeno diventa fastidioso in presenza di aperture trasparenti nella direzione dell'asse turbina-sole. Per questo motivo sono state inserite, per ogni singolo ricettore, 4 finestre (una per ogni faccia) di altezza 1 metro, larghezza 1 metro e altezza dal suolo 2 metri.

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici di tutti i ricettori individuati con l'indicazione delle coordinate e della posizione delle finestre:

Id_Shadow	Name	EST	NORD	sensibilità	Orientamento Finestre N=0			
1	R1	487470	4642293	non sensibile	20	110	200	290
2	R2	490643	4641742	non sensibile	30	120	210	300
3	R3	490737	4642115	sensibile	20	110	200	290
4	R4	487807	4641452	non sensibile	30	120	210	300

5	R5	488457	4640933	sensibile	45	135	225	315
6	R6	488895	4640858	non sensibile	0	90	180	270
7	R7	488907	4640708	non sensibile	0	90	180	270
8	R8	489490	4640662	sensibile	50	140	230	320
9	R9	489399	4641084	non sensibile	0	90	180	270
10	R10	490230	4641277	non sensibile	60	150	240	330
11	R11	490205	4641654	non sensibile	30	120	210	300
12	R12	489773	4641470	sensibile	30	120	210	300
13	R13	490393	4642109	non sensibile	45	135	225	315
14	R14	490364	4642057	non sensibile	45	135	225	315
15	R15	490411	4642024	non sensibile	45	135	225	315
16	R16	490486	4642015	sensibile	45	135	225	315
17	R17	490516	4641923	non sensibile	45	135	225	315
18	R18	490572	4641903	sensibile	45	135	225	315
19	R19	490590	4641828	sensibile	45	135	225	315
20	R20	490050	4642196	non sensibile	30	120	210	300
21	R21	490253	4642779	sensibile	45	135	225	315
22	R22	490393	4642876	sensibile	45	135	225	315
23	R23	489722	4643150	sensibile	60	150	240	330
24	R24	488404	4643227	sensibile	60	150	240	330
25	R25	489167	4642599	sensibile	30	120	210	300
26	R26	489085	4642089	non sensibile	40	130	220	310
27	R27	488406	4642710	sensibile	10	100	190	280
28	R28	488235	4642754	sensibile	30	120	210	300
29	R29	487755	4643033	sensibile	45	135	225	315
30	R30	487415	4642066	sensibile	45	135	225	315
31	R31	487964	4641591	non sensibile	45	135	225	315
32	R32	488389	4641599	non sensibile	30	120	210	300
33	R33	491888	4643308	sensibile	45	135	225	315
34	R34	491711	4643070	sensibile	45	135	225	315
35	R35	491658	4642784	non sensibile	30	120	210	300
36	R36	491864	4642909	sensibile	45	135	225	315
37	R37	491624	4642596	non sensibile	30	120	210	300
38	R38	491709	4642563	non sensibile	20	110	200	290
39	R39	491656	4642486	sensibile	30	120	210	300
40	R40	491826	4642385	sensibile	60	150	240	330
41	R41	492401	4641931	non sensibile	20	110	200	290
42	R42	492392	4642032	non sensibile	45	135	225	315
43	R43	492614	4642107	sensibile	45	135	225	315
44	R44	492825	4641974	sensibile	50	140	230	320
45	R45	492729	4642247	sensibile	70	160	250	340
46	R46	493159	4642926	non sensibile	80	170	260	350
47	R47	493051	4643102	non sensibile	60	150	240	330
48	R48	492907	4642964	non sensibile	60	150	240	330

49	R49	492858	4643178	sensibile	60	150	240	330
50	R50	492143	4642433	non sensibile	10	100	190	280
51	R51A	492004	4642706	sensibile	45	135	225	315
83	R51B	491968	4642718	sensibile	45	135	225	315
84	R51C	491999	4642730	non sensibile	45	135	225	315
52	R52	492469	4643291	sensibile	30	120	210	300
53	R53	492629	4643632	sensibile	20	110	200	290
54	R54	493462	4643573	sensibile	0	90	180	270
55	R55	493820	4643351	sensibile	45	135	225	315
56	R56	493855	4643554	non sensibile	45	135	225	315
57	R57	493857	4643602	sensibile	45	135	225	315
58	R58	493918	4643773	non sensibile	45	135	225	315
59	R59	493867	4643792	sensibile	45	135	225	315
60	R60	494062	4644224	sensibile	30	120	210	300
61	R61	494272	4644431	sensibile	0	90	180	270
62	R62	494085	4644617	non sensibile	0	90	180	270
63	R63	493733	4644747	non sensibile	0	90	180	270
64	R64	494212	4645003	sensibile	20	110	200	290
65	R65	493404	4643169	non sensibile	60	150	240	330
66	R66	494006	4645099	non sensibile	0	90	180	270
67	R67	493319	4645737	non sensibile	20	110	200	290
68	R68	493086	4645909	sensibile	45	135	225	315
69	R69	492648	4646089	sensibile	45	135	225	315
70	R70	492615	4645863	sensibile	10	100	190	280
71	R71	492467	4645540	sensibile	0	90	180	270
72	R72	492398	4644723	non sensibile	0	90	180	270
73	R73	492603	4644584	non sensibile	0	90	180	270
74	R74	493034	4644937	sensibile	45	135	225	315
75	R75	493105	4644793	non sensibile	60	150	240	330
76	R76	493187	4644653	non sensibile	30	120	210	300
77	R77	493125	4644574	sensibile	10	100	190	280
78	R78	493088	4644010	non sensibile	45	135	225	315
79	R79	493427	4645082	non sensibile	10	100	190	280
80	R80	493114	4646016	non sensibile	20	110	200	290
81	R81	493910	4645763	non sensibile	20	110	200	290
82	R82	491935	4642287	non sensibile	0	90	180	270

Tabella 1: Ricettori nell'area di studio con indicazione delle aperture finestrate

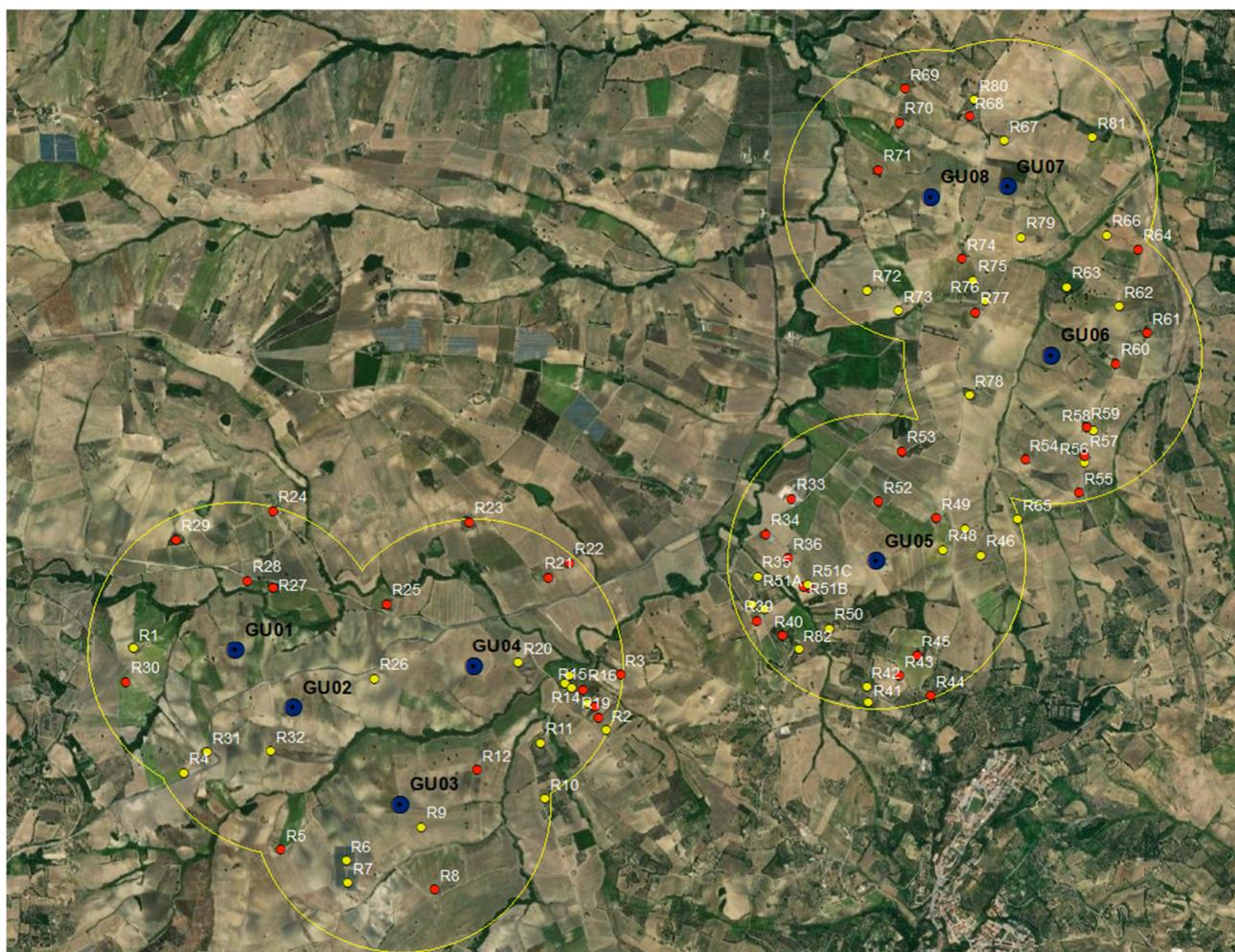


Figura 2: Individuazione dei ricettori nell'area di studio. In rosso i ricettori sensibili, in giallo i non sensibili

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

Per un approfondimento sulla tipologia di ricettore si rimanda alla tavola "AS262-SIA07-D\_INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO" e "AS262-SIA08-D\_SCHEDE REPORT DEI FABBRICATI E RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO".

## 6 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E CONCLUSIONI

Le elaborazioni per il calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine eoliche sono state condotte considerando un totale di 84 recettori di cui 42 sensibili.

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 inficerebbero 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.

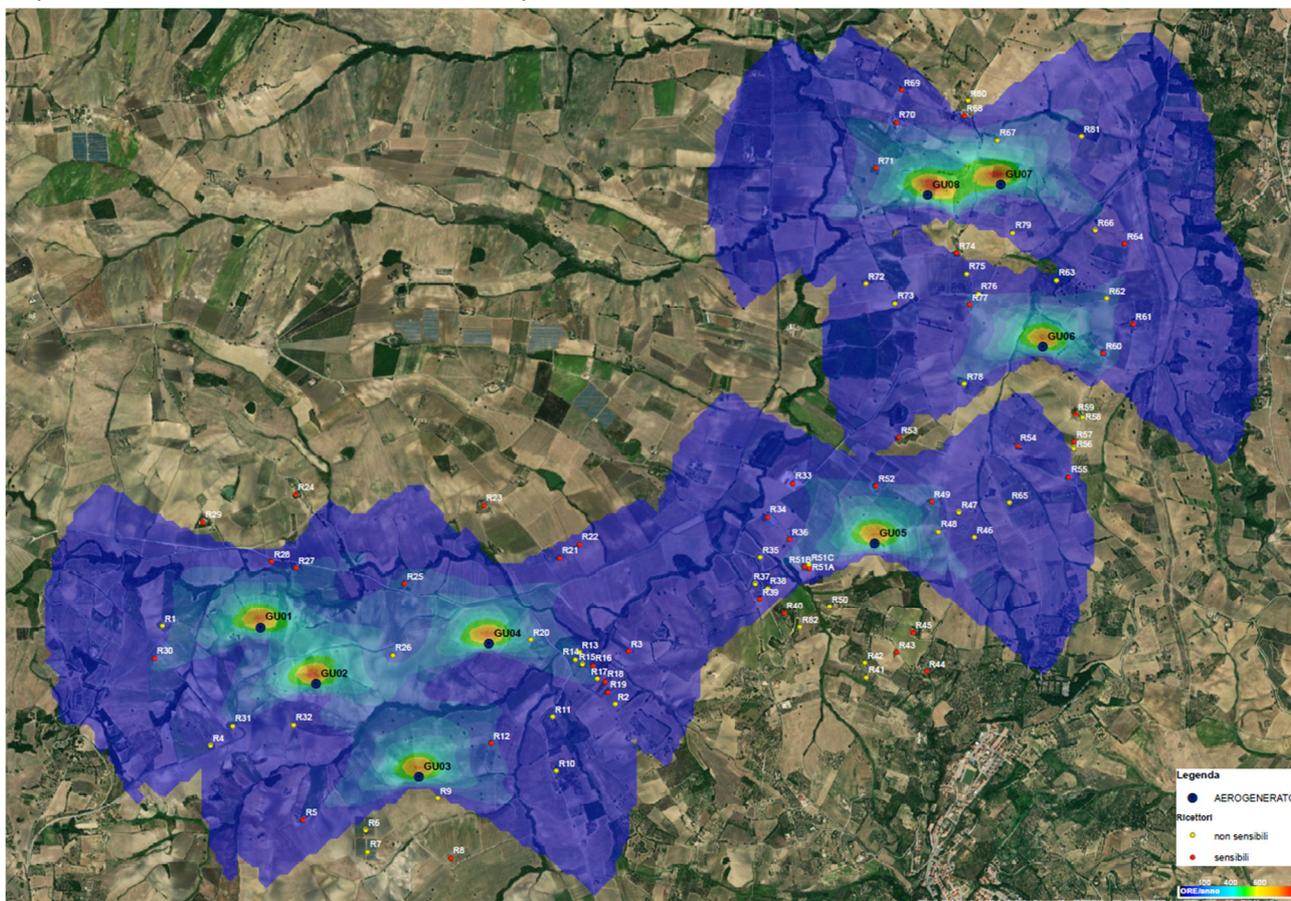


Figura 3 – Visualizzazione mappa delle ombre generate

Dall'analisi dei risultati cartografici si nota che 23 degli 84 ricettori sono esterni alle curve di ombreggiamento e quindi non subiscono alcun ombreggiamento.

Oltre alla restituzione cartografica si è calcolato l'ombreggiamento in ore/anno su finestre "tipo" dei prospetti più esposti.

Project : GUGLIONESI  
Run Name : KGuglionesi001.WFK  
Title : ShadowGuglionesi  
Time : 18:34:22, 28 Nov 2022

SUMMARY OF MERGED SHADOW TIMES ON EACH HOUSE FROM ALL TURBINES

House	Easting	Northing	Days per year	Max hours per day	Mean hours per day	Total hours
1	487470	4642293	130	0.98	0.63	82.2
2	490643	4641742	121	0.75	0.55	66.6
3	490737	4642115	57	0.70	0.55	31.2
4	487807	4641452	103	0.62	0.40	40.8
5	488457	4640933	112	0.83	0.67	75.0
6	488895	4640858	0	0.00	0.00	0.0
7	488907	4640708	0	0.00	0.00	0.0
8	489490	4640662	0	0.00	0.00	0.0
9	489399	4641084	0	0.00	0.00	0.0
10	490230	4641277	55	0.71	0.56	30.6
11	490205	4641654	57	0.67	0.53	30.1
12	489773	4641470	168	1.17	0.71	119.0
13	490393	4642109	174	1.05	0.65	112.4
14	490364	4642057	227	1.10	0.65	148.1
15	490411	4642024	229	1.03	0.59	136.2
16	490486	4642016	167	0.93	0.58	96.6
17	490516	4641923	168	0.89	0.62	103.9
18	490572	4641903	164	0.83	0.57	93.6
19	490590	4641828	142	0.80	0.59	84.3
20	490050	4642196	203	2.04	1.62	329.8
21	490253	4642779	58	0.73	0.60	34.6
22	490393	4642876	46	0.54	0.45	20.7
23	489722	4643150	0	0.00	0.00	0.0
24	488404	4643227	0	0.00	0.00	0.0
25	489167	4642599	167	1.29	0.86	144.3
26	489085	4642089	189	1.69	0.99	187.8
27	488406	4642710	132	1.26	0.92	121.7
28	488235	4642754	62	1.03	0.82	50.9
29	487755	4643033	0	0.00	0.00	0.0
30	487415	4642066	160	0.91	0.60	95.4
31	487964	4641591	130	1.01	0.65	84.1
32	488389	4641599	128	0.73	0.45	57.2
33	491888	4643308	106	0.96	0.69	72.6
34	491711	4643070	67	0.86	0.67	44.8
35	491658	4642784	78	0.85	0.67	52.0
36	491864	4642909	93	1.10	0.85	79.3
37	491624	4642596	104	0.80	0.67	70.0
38	491709	4642563	81	0.82	0.70	56.8
39	491656	4642486	67	0.71	0.60	40.3
40	491826	4642385	0	0.00	0.00	0.0
41	492401	4641931	0	0.00	0.00	0.0
42	492392	4642032	0	0.00	0.00	0.0
43	492614	4642107	0	0.00	0.00	0.0
44	492825	4641974	0	0.00	0.00	0.0
45	492729	4642247	0	0.00	0.00	0.0
46	493159	4642926	49	0.95	0.75	36.7
47	493051	4643102	59	1.06	0.78	45.8
48	492907	4642964	114	1.43	1.10	125.7
49	492858	4643178	145	1.31	1.08	156.3
50	492143	4642433	0	0.00	0.00	0.0
51	492004	4642706	93	1.24	1.05	97.3
52	492469	4643291	100	1.47	1.22	122.5
53	492629	4643632	0	0.00	0.00	0.0
54	493462	4643573	94	0.59	0.45	41.8
55	493820	4643351	41	0.50	0.39	15.8
56	493855	4643554	0	0.00	0.00	0.0

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	Rev. 00

Project : GUGLIONESI  
Run Name : KGuglionesi001.WFK  
Title : ShadowGuglionesi  
Time : 18:34:22, 28 Nov 2022

57	493857	4643602	0	0.00	0.00	0.0
58	493918	4643773	0	0.00	0.00	0.0
59	493866	4643792	0	0.00	0.00	0.0
60	494062	4644224	178	1.55	1.13	201.2
61	494272	4644431	74	1.02	0.80	59.0
62	494085	4644617	157	1.17	0.84	131.7
63	493733	4644747	40	0.67	0.54	21.5
64	494212	4645003	110	0.66	0.48	53.0
65	493404	4643169	50	0.70	0.53	26.7
66	494006	4645099	100	0.64	0.48	48.4
67	493318	4645737	124	2.76	2.25	278.5
68	493086	4645909	0	0.00	0.00	0.0
69	492648	4646089	72	0.70	0.59	42.8
70	492615	4645863	126	0.90	0.71	89.9
71	492467	4645540	122	2.17	1.40	170.2
72	492398	4644723	38	0.54	0.41	15.7
73	492603	4644584	41	0.64	0.48	19.9
74	493034	4644937	0	0.00	0.00	0.0
75	493105	4644793	66	0.84	0.69	45.5
76	493187	4644653	108	1.13	0.98	106.2
77	493125	4644574	142	1.12	0.77	109.9
78	493088	4644010	93	1.11	0.93	86.4
79	493427	4645082	54	0.59	0.41	22.4
80	493114	4646016	0	0.00	0.00	0.0
81	493910	4645762	87	1.50	0.94	82.1
82	491935	4642287	0	0.00	0.00	0.0
83	491968	4642718	105	1.24	1.07	112.1
84	491999	4642730	109	1.31	1.12	122.0

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

Molti dei ricettori indicati in tabella sono ricettori non sensibili, pertanto saranno presi in considerazione, nelle prossime tabelle solo i ricettori sensibili e su questi saranno effettuati i calcoli nel caso "REAL 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 ricettori 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 ricettori 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 2384 h/yr (rispetto alle 4380 h/yr considerate nel worst - case). I risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45,6 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2384/4380 = 54,4 \%$ . In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 54.4 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	Rev. 00

Altro fattore da considerare ai fini dell'effetto stroboscopico è la distribuzione di frequenza di velocità del vento nell'area in esame. Come riportato nelle schede tecniche degli aerogeneratori, il cut-in è fissato a 3m/s. Per velocità più basse di tale valore, le turbine non sono in movimento e non generano effetto flickering.

Dai dati a disposizione del produttore, la frequenza di velocità fino a 3 m/s è circa il 20 %. Questo ci permette di diminuire ulteriormente del 20% la probabilità di occorrenza del fenomeno.

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:

Id_Shadow	Name	sensibilità	Total hours worst case	Total hours real case	Total hours real case con frequenza di velocità < 3m/s
3	R03	sensibile	31,2	17,0	13,6
5	R05	sensibile	75	40,8	32,6
8	R08	sensibile	0	0,0	0,0
12	R12	sensibile	119	64,7	51,8
16	R16	sensibile	96,6	52,6	42,0
18	R18	sensibile	93,6	50,9	40,7
19	R19	sensibile	84,3	45,9	36,7
21	R21	sensibile	34,6	18,8	15,1
22	R22	sensibile	20,7	11,3	9,0
23	R23	sensibile	0	0,0	0,0
24	R24	sensibile	0	0,0	0,0
25	R25	sensibile	144,3	78,5	62,8
27	R27	sensibile	121,7	66,2	53,0
28	R28	sensibile	50,9	27,7	22,2
29	R29	sensibile	0	0,0	0,0
30	R30	sensibile	95,4	51,9	41,5
33	R33	sensibile	72,6	39,5	31,6
34	R34	sensibile	44,8	24,4	19,5
36	R36	sensibile	79,3	43,1	34,5
39	R39	sensibile	40,3	21,9	17,5
40	R40	sensibile	0	0,0	0,0

43	R43	sensibile	0	0,0	0,0
44	R44	sensibile	0	0,0	0,0
45	R45	sensibile	0	0,0	0,0
49	R49	sensibile	156,3	85,0	68,0
51	R51A	sensibile	97,3	52,9	42,3
83	R51B	sensibile	112,1	61,0	48,8
52	R52	sensibile	122,5	66,6	53,3
53	R53	sensibile	0	0,0	0,0
54	R54	sensibile	41,8	22,7	18,2
55	R55	sensibile	15,8	8,6	6,9
57	R57	sensibile	0	0,0	0,0
59	R59	sensibile	0	0,0	0,0
60	R60	sensibile	201,2	109,5	87,6
61	R61	sensibile	59	32,1	25,7
64	R64	sensibile	53	28,8	23,1
68	R68	sensibile	0	0,0	0,0
69	R69	sensibile	42,8	23,3	18,6
70	R70	sensibile	89,9	48,9	39,1
71	R71	sensibile	170,2	92,6	74,1
74	R74	sensibile	0	0,0	0,0
77	R77	sensibile	109,9	59,8	47,8

**Tabella 6**-Ore di ombreggiamento h/anno

Degli 84 ricettori, 42 sono risultati sensibili dalle analisi catastali.

Per un approfondimento sulla tipologia di ricettore si rimanda alla tavola "AS269-SI07-D\_SCHEDE DEI FABBRICATI E RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO".

Dei 42 ricettori sensibili individuati nell'arco di 1 Km dagli aerogeneratori, solo 7 (R12 – R25 - R27 – R49 – R52 – R60 e R71) hanno un ombreggiamento superiore alle 50 h/anno.

E' importante sottolineare che i calcoli effettuati sono molto cautelativi in quanto nella stima non sono stati considerati alcuni aspetti fondamentali che potrebbero abbattere tali valori, es. concomitanza di ore di soleggiamento con ore di funzionamento delle turbine, direzione del rotore ortogonale alla direttrice sole-finestra, eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione arbustiva tra finestra e direttrice. Ad ogni modo riportando il calendario annuale (nel caso del WORST CASE) e l'effetto ombre generato dalle turbine sui ricettori sopra richiamati, si può notare l'effetto transitorio e quindi trascurabile del fenomeno.

Le curve di colore rosso, superiore ed inferiore, indicano l'alba e il tramonto, in ascissa i giorni dell'anno e in ordinate le ore dell'anno. Le curve campite individuano gli eventi di ombreggiamento presso il ricettore.

### Studio delle ombre Ricettore R12

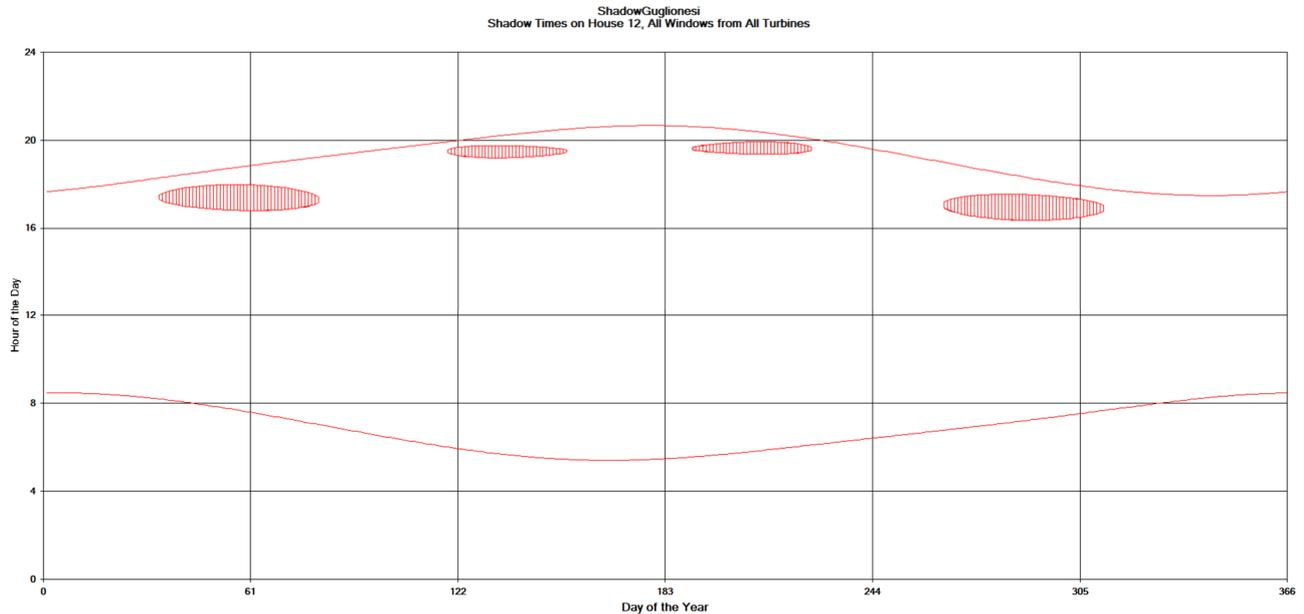


Figura 3: Calendario delle ombre per il ricettore R32

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 2 turbine:

GU02: dal 28 Aprile al 02 Giugno tra le 19:11 e le 19:45– dal 09 Luglio al 13 Agosto tra le 19:21 e le 19:55

GU 03: dal 03 Febbraio al 21 Marzo tra le 16:48 e le 17:57– dal 21 Settembre al 07 Novembre tra le 16:21 e le 17:31

### Studio delle ombre Ricettore 25

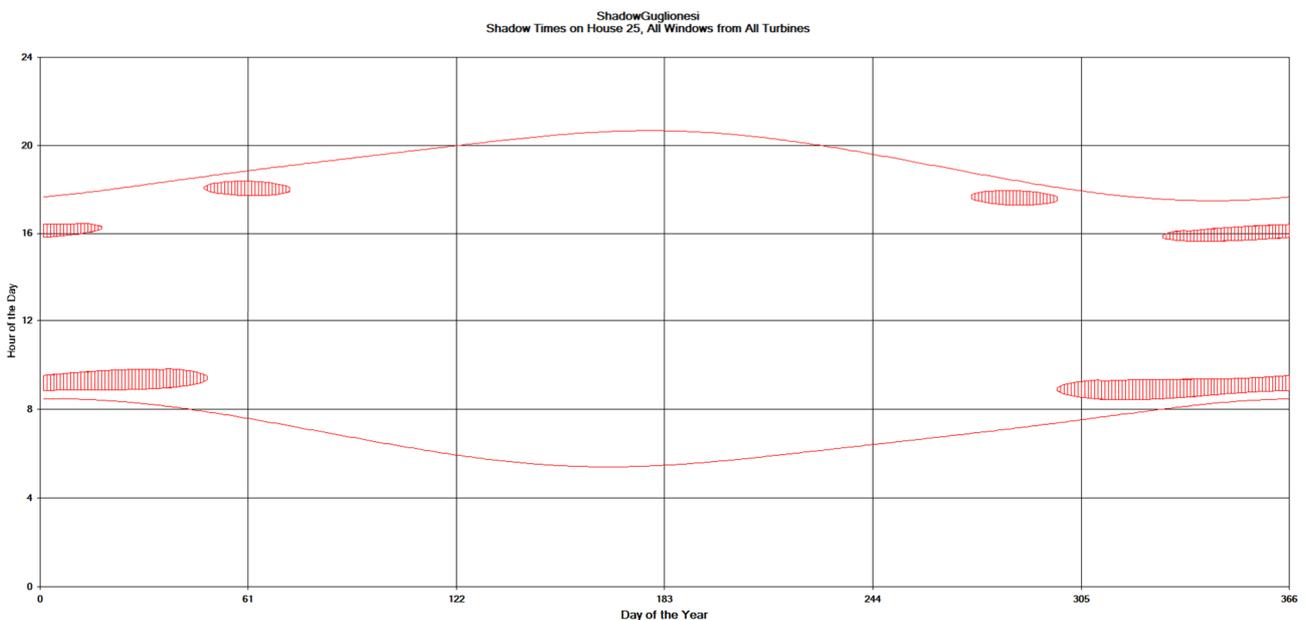


Figura 4: Calendario delle ombre per il ricettore R25

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 3 turbine:

GU 01: dal 17 Febbraio al 13 Marzo tra le 17:42 e le 18:22 – dal 01 Ottobre al 24 Ottobre tra le 17:17 e le 17:56

GU 02: dal 01 Gennaio al 18 Gennaio tra le 15:49e le 16:27– dal 24 Novembre al 31 Dicembre tra le 15:38 e le 16:24.

GU 04: dal 01 Gennaio al 18 Febbraio tra le 08:51 e le 09:49– dal 24 Ottobre al 31 Dicembre tra le 08:25 e le 09:32.

### Studio delle ombre Ricettore 27

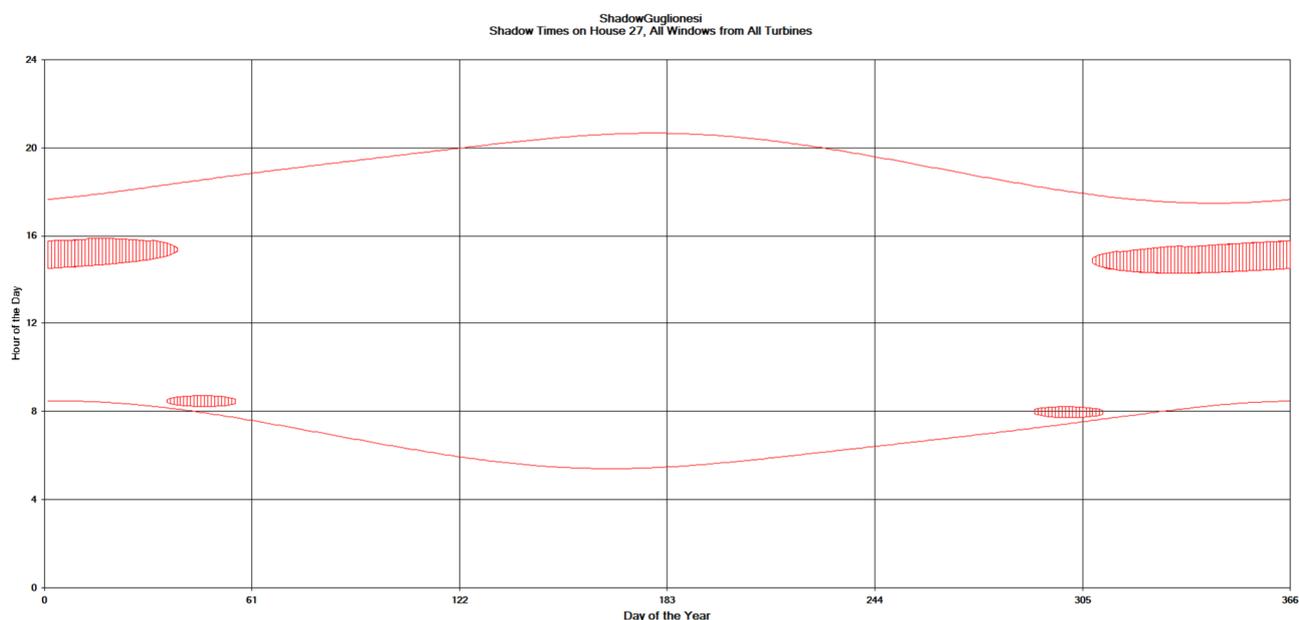


Figura 5: Calendario delle ombre per il ricettore R27

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 2 turbine:

GU 01: dal 01 Gennaio al 08 Febbraio tra le 14:31 e le 15:53 – dal 03 Novembre al 31 Dicembre tra le 14:18 e le 15:46

GU 04: dal 05 Febbraio al 25 Febbraio tra le 08:13 e le 08:43– dal 17 Ottobre al 06 Novembre tra le 7:43 e le 08:12.

### Studio delle ombre Ricettore 49

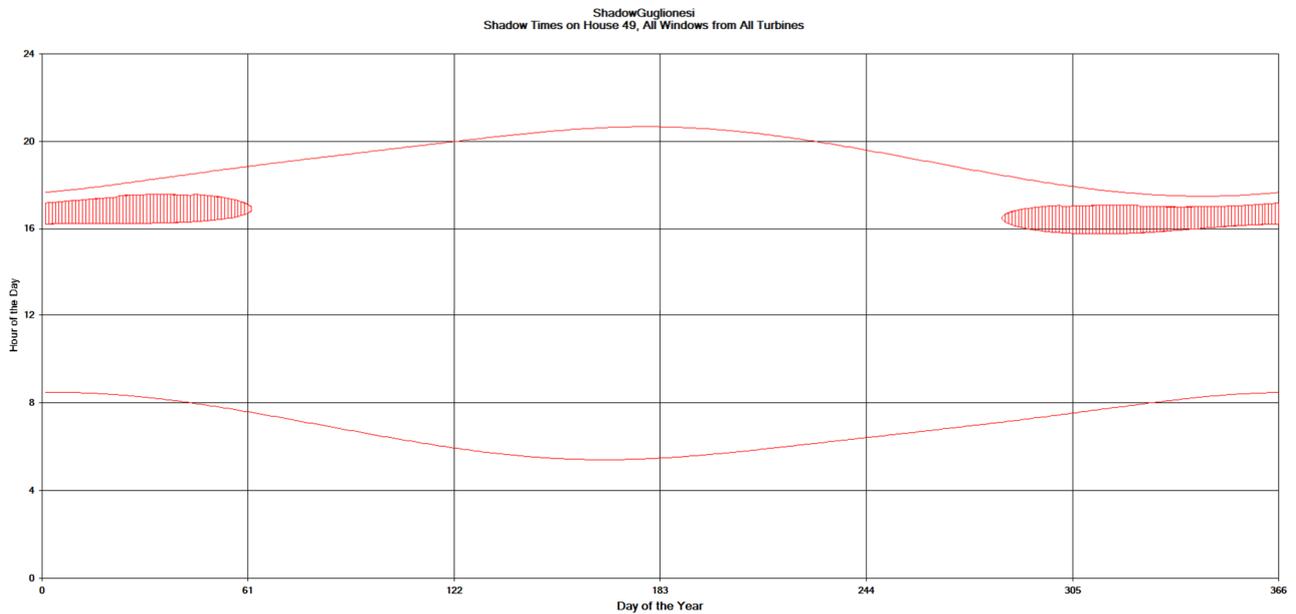


Figura 6: Calendario delle ombre per il ricettore R49

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 1 turbina:

GU 05: dal 01 Gennaio al 02 Marzo tra le 16:12 e le 17:33– dal 10 Ottobre al 31 Dicembre tra le 15:45 e le 17:10

### Studio delle ombre Ricettore 52

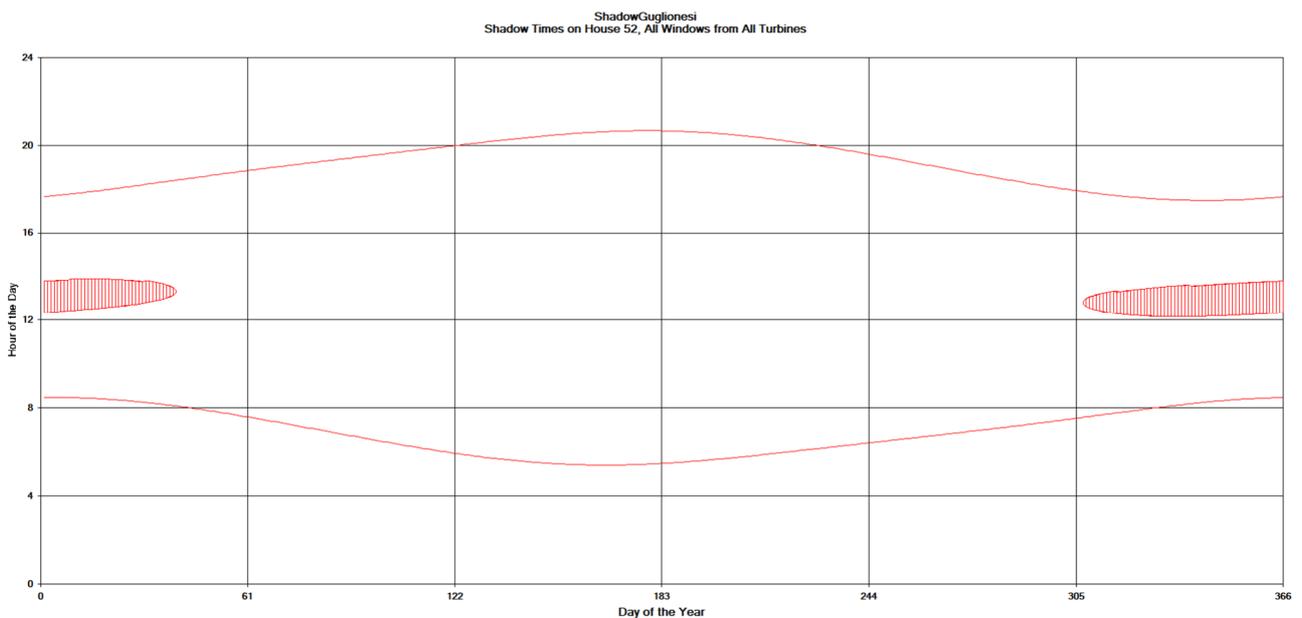


Figura 7: Calendario delle ombre per il ricettore R52

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 1 turbina:

GU 05: dal 01 Gennaio al 09 Febbraio tra le 12:21 e le 13:54– dal 02 Novembre al 31 Dicembre tra le 12:09 e le 13:48.

### Studio delle ombre Ricettore 60

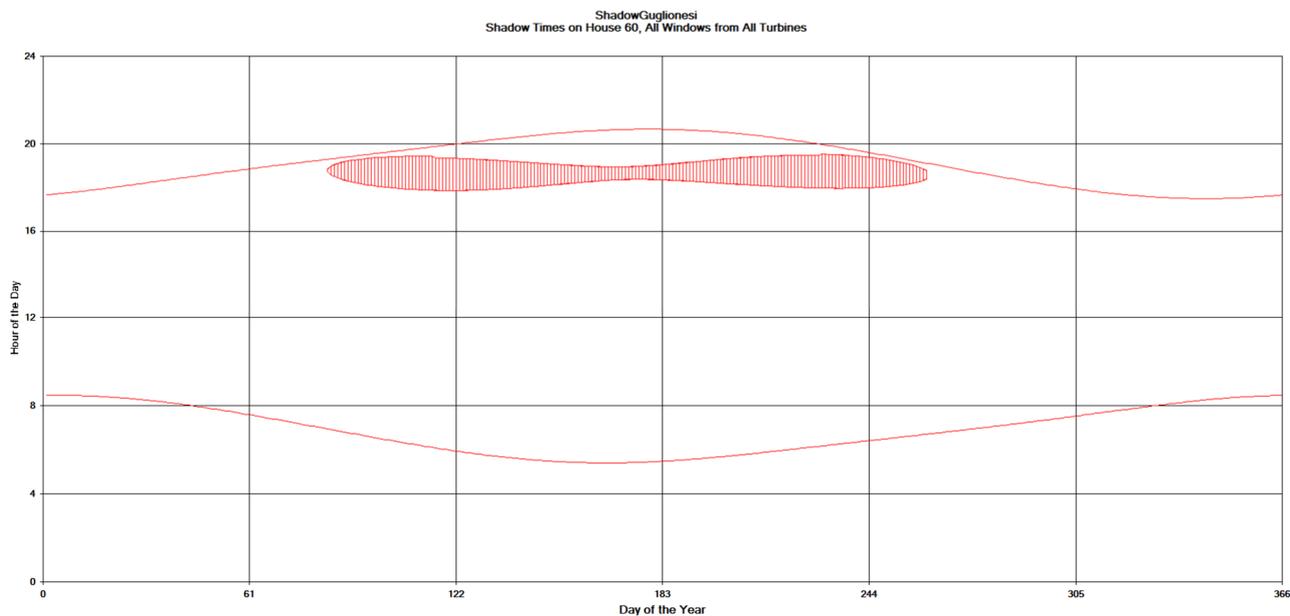


Figura 8: Calendario delle ombre per il ricettore R60

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 1 turbina:

GU 06: dal 24 Marzo al 17 Settembre tra le 17:51 e le 19:31.

### Studio delle ombre Ricettore 71

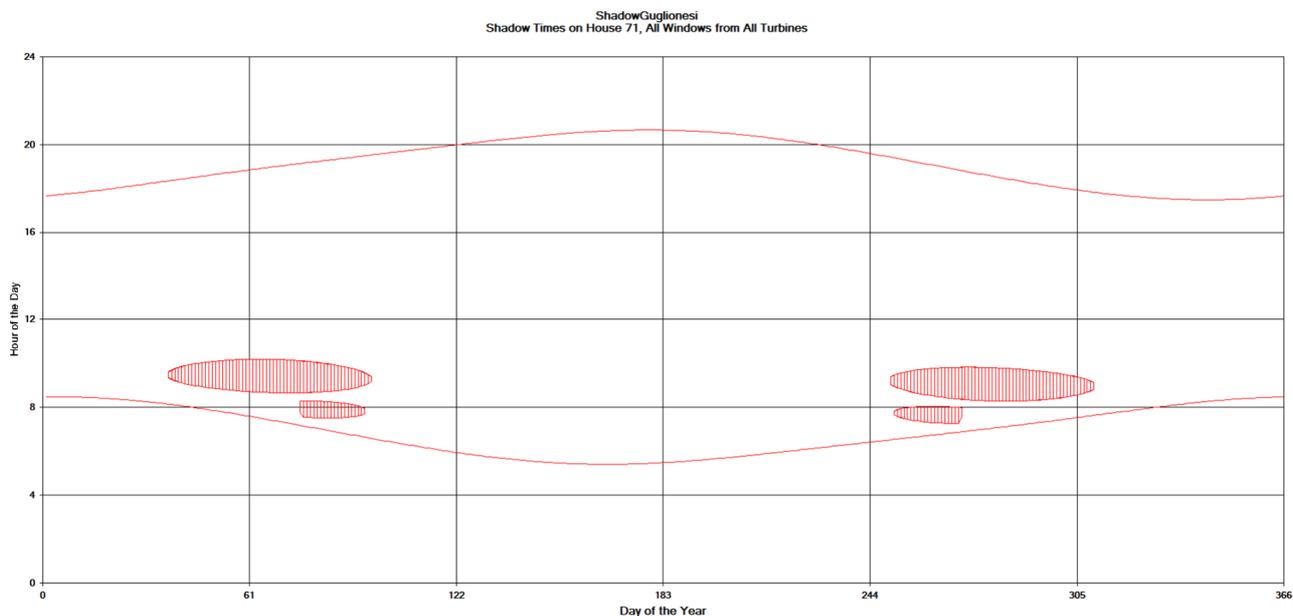


Figura 9: Calendario delle ombre per il ricettore R71

<b>GRV SOLAR</b> <b>CAMPOBASSO 4 S.r.l.</b> 	<b>STUDIO EVOLUZIONE OMBRE</b> <b>(SHADOW FLICKERING)</b>	AS 269-SIA08-R	
		Data Settembre-2022	Rev. 00

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 2 turbine:

GU 07: dal 16 Marzo al 04 Aprile tra le 07:30 e le 08:17 – dal 07 Settembre al 27 Settembre tra le 07:15 e le 08:03

GU 08: dal 06 Febbraio al 06 Aprile tra le 08:39 e le 10:11– dal 06 Settembre al 05 Novembre tra le 08:16 e le 09:49.

Si nota come gli ombreggiamenti dei ricettori maggiormente soggetti al fenomeno, sono esclusivamente presenti nelle prime ore dell'alba o nelle ore dell'imbrunire e per periodi limitati

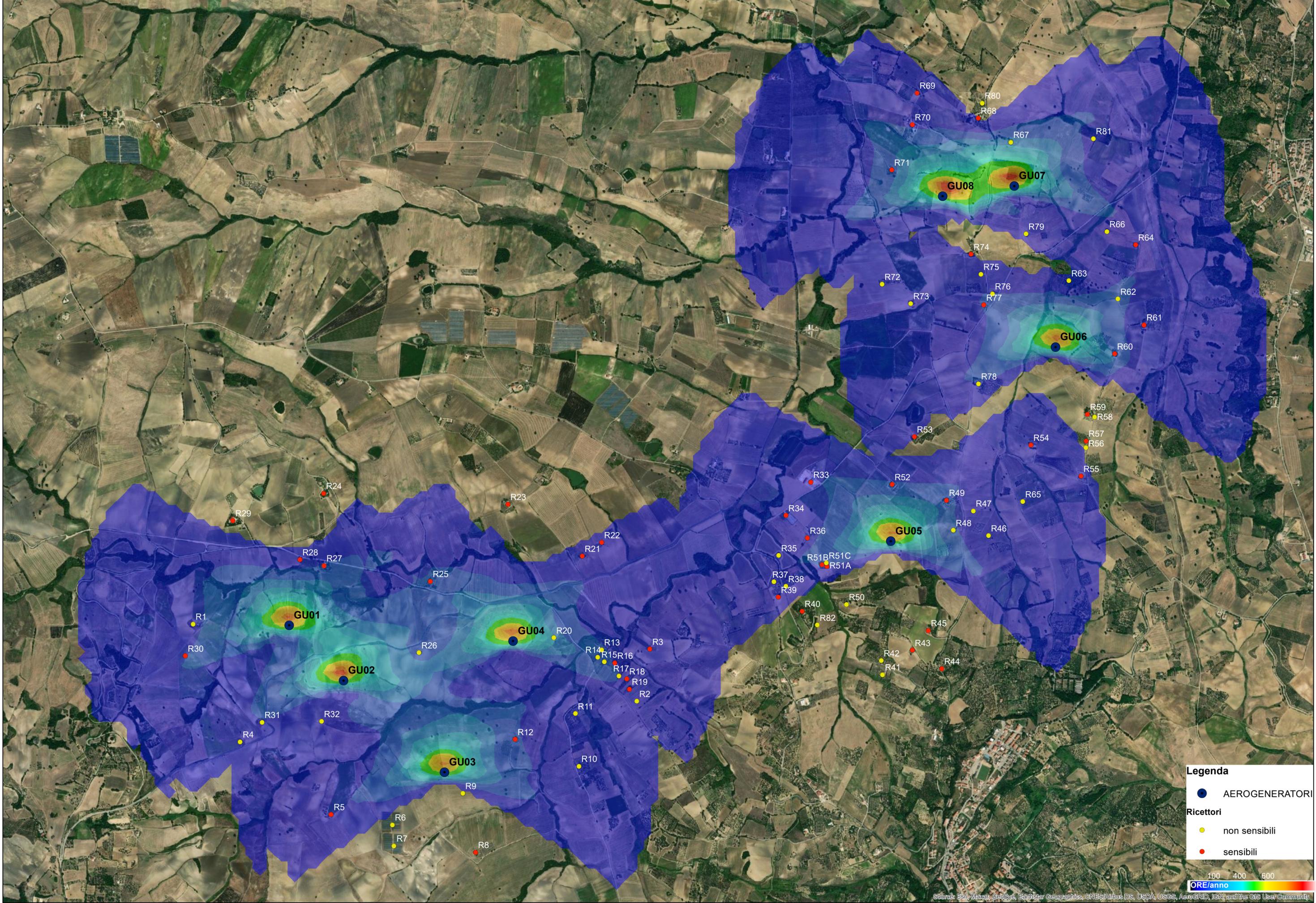
## 7 CONCLUSIONI

Il lavoro è stato svolto in due distinte fasi: la prima tramite software idoneo al calcolo dell'effetto di shadow-flickering il quale ha portato alla luce che 16 ricettori su 84 sono interessati dal fenomeno per più di 50 h/anno nel caso peggiorativo (Worst Case); la seconda, ha cercato in modo empirico di avvicinarsi ad un caso reale con condizioni al contorno identiche, considerando in aggiunta il solo fattore nuvolosità e della frequenza della velocità del vento > 3m/s. Tale studio ha portato ad una drastica diminuzione del monte ore/annuo per ricettore, portando a solo 7 i ricettori interessati dal fenomeno.

Si aggiunge che nel presente studio non è stato considerato l'ombreggiamento dato dalle alberature presenti nei cortili dei fabbricati o lungo gli assi sole-turbina-finestra. Queste ulteriori ipotesi potrebbero addirittura eliminare completamente alcuni edifici tra la lista dei ricettori se gli stessi fossero dotate di finestre più piccole rispetto a quelle ipotizzate sulle pareti di Ovest ed 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 EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING) - COMUNE DI GUGLIONESI



**Legenda**

- AEROGENERATORI
- Ricettori**
  - non sensibili
  - sensibili



Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community