



REGIONE
CAMPANIA



PROVINCIA
DI
AVELLINO



COMUNE DI
SAVIGNANO IRPINO



PROVINCIA
DI
BENEVENTO



COMUNE DI
CASTELFRANCO
IN MISCANO



COMUNE DI
ARIANO IRPINO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DA 34 MW NEL COMUNE DI SAVIGNANO IRPINO (AV) , CON OPERE DI CONNESSIONE IN CASTELFRANCO IN MISCANO (BN) E ARIANO IRPINO (AV)



Proponente



GIGLIO RINNOVABILI S.R.L.

Largo Augusto n.3
20122 Milano
pec: gigliorinnovabili@legalmail.it



Progettazione



Viale Michelangelo, 71
80129 Napoli
TEL.081 579 7998
mail: tecnico@inse srl



Amm. Francesco Di Maso
Ing. Nicola Galdiero
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:
Geol. V.E.Iervolino
Dott.Agr. A. Ianiro
Archeol. A.Vella
Arch. M. Perillo
Arch. C. Gaudiero
Ing. F.Quarto
Arch. M. Mauro
Studio Rinnovabili Srl

Elaborato

Nome Elaborato:

STUDIO EVOLUZIONE DELL'OMBRE (SHADOW FLICKERING)

01	Dicembre 2023	Integrazioni alla richiesta prot.12835 del 14/11/2023 del C.T. PNRR-PNIEC	INSE Srl	INSE Srl	Giglio rinnovabili s.r.l.
00	Giugno 2022	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	Giglio rinnovabili s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Scala:	-:-				
Formato:	A4	Codice Pratica	S251	Codice Elaborato	AS251-SIA07-R

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R
	Data 15/12/2023	Rev. 01	

Sommario

1	INTRODUZIONE ALLO SHADOW FLICKERING	2
2	PRINCIPALI PARAMETRI RICHIESTI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING E SOFTWARE UTILIZZATI	4
3	ASPETTI NORMATIVI PER IL CALCOLO DELLO SHADOW FLICKERING.....	5
4	MODELLO CALCOLO DEGLI EFFETTI DI SHADOW FLICKERING DEL PARCO EOLICO	6
5	INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI SENSIBILI	7
6	RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E CONCLUSIONI.....	11
7	MISURE DI MITIGAZIONE.....	18
8	CONCLUSIONI.....	19

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R
	Data 15/12/2023	Rev. 01	

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.

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.

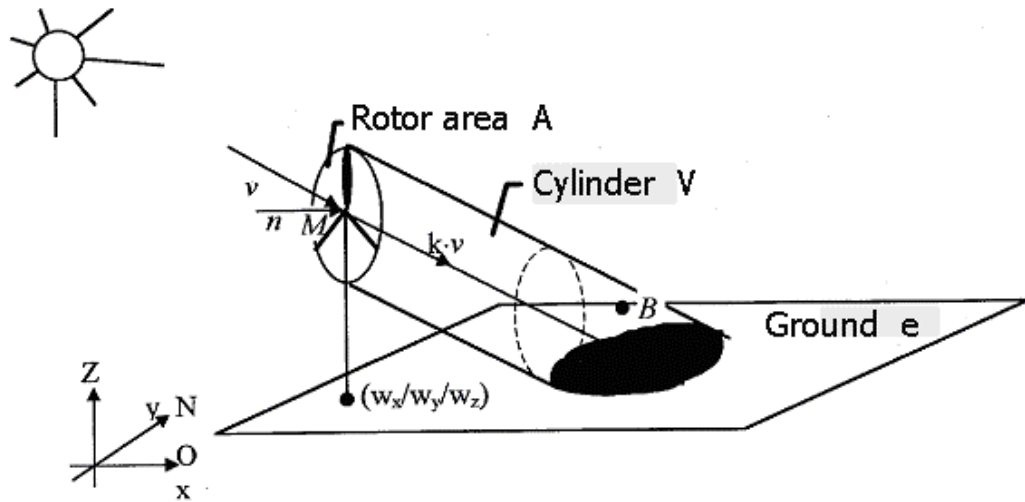


Figura 1 – Proiezione della turbina sul terreno

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.

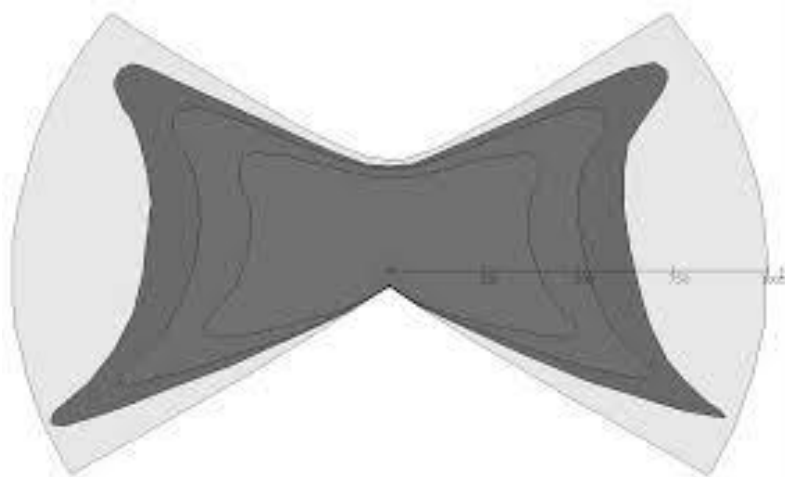


Figura 2 - Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R
	Data 15/12/2023	Rev. 01	

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 Savignano Irpino (AV) nel territorio della Regione Campania. 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 costituito da 4 turbine (SAB01-SAB02-SAB04 e SAB05) con diametro da 163 m ed un'altezza al mozzo di 118 m per un'altezza complessiva di 199,5 metri e una turbina SAB03 con diametro 131 e altezza al mozzo pari a 120m con altezza complessiva pari a 185,5.

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

ID WTG	Coordinate WGS 84 UTM33		Quote e misure				
	EST (m)	NORD (m)	Altitudine (m s.l.m.)	Modello WTG	H mozzo (m)	H TIP (m)	H TIP (m s.l.m.)
SAB 01	514535,00	4562615,00	610	Nordex N163	118	199,5	728
SAB 02	514351,45	4561903,12	578	Nordex N163	118	199,5	696
SAB 03	517217,46	4560349,98	644	Nordex N131	120	185,5	748
SAB 04	518650,64	4562635,14	655	Nordex N163	118	199,5	773
SAB 05	519040,46	4562333,88	737	Nordex N163	118	199,5	855

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 = 2°
2. Distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina = 1,0 km.
3. Statistica di probabilità mensile di presenza di sole dedotta (descritta in seguito)
4. Curve di livello rilevate dalle CTR 1:5000
5. Modello delle turbine Nordex N163

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 1000m, 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.

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 Grazzanise-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	Ore di luce mensile	% soleggiamento su ore di luce
Gennaio	4,11	127,41	744	293,26	43,45
Febbraio	5,39	150,92	672	294,56	51,24
Marzo	5,77	178,87	744	365,80	48,90
Aprile	6,5	195	720	393,60	49,54
Maggio	8,32	257,92	744	443,30	58,18
Giugno	9,54	286,2	720	450,60	63,52
Luglio	10,52	326,12	744	452,60	72,05
Agosto	9,96	308,76	744	421,60	73,24
Settembre	7,71	231,3	720	369,00	62,68

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R	
			Data 15/12/2023	Rev. 01

Ottobre	6,09	188,79	744	339,45	55,62
Novembre	4,22	126,6	720	293,10	43,19
Dicembre	3,6	111,6	744	285,20	39,13
TOT		2489	8760	4402,07	56,55

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 "ricettori 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 58 ricettori individuati con l'indicazione delle coordinate e della posizione delle finestre:

ID Shadow	Name	Tipo	E	N	Orient.fin. N=0°			
1	R1	Sensibili	514990	4562425	10	100	190	280
2	R2	Sensibili	515078	4562437	60	150	240	330
3	R3	Sensibili	514909	4562156	30	120	210	300

4	R5	Sensibili	515153	4562762	45	135	225	315
5	R6	Sensibili	514972	4563094	60	150	240	330
6	R7	Sensibili	514850	4563429	80	170	260	350
7	R8	Sensibili	514883	4563530	60	150	240	330
8	R9	Sensibili	514409	4563569	70	160	250	340
9	R10	Sensibili	514947	4562375	5	95	185	275
10	R11	Sensibili	514947	4562340	5	95	185	275
11	R12	Sensibili	515088	4562011	45	135	225	315
12	R13	Sensibili	514860	4561727	10	100	190	280
13	R14	Sensibili	515153	4562268	65	155	245	335
14	R15	Sensibili	515026	4562254	70	160	250	340
15	R16	Sensibili	514904	4562220	50	140	230	320
16	R17	Sensibili	515003	4562475	5	95	185	275
17	R18	Sensibili	518673	4561588	65	155	245	335
18	R20	Sensibili	513497	4562189	0	90	180	270
19	R21	Sensibili	515036	4563343	30	120	210	300
20	R22	Sensibili	515121	4563307	30	120	210	300
21	R23	Sensibili	515016	4563444	0	90	180	270
22	R25	Sensibili	514632	4563538	45	135	225	315
23	R26	Sensibili	514396	4563378	45	135	225	315
24	R27	Sensibili	514892	4562037	0	90	180	270
25	R28	Sensibili	514940	4563392	45	135	225	315
26	R29A	Sensibili	514574	4563600	45	135	225	315
27	R32	Sensibili	514947	4563461	0	90	180	270
28	R34	Sensibili	514949	4563316	30	120	210	300
29	R35	Sensibili	515132	4563273	30	120	210	300
30	R40	Sensibili	515039	4562367	70	160	250	340
31	R41	Sensibili	515042	4562194	40	130	220	310
32	R42	Sensibili	514789	4562021	45	135	225	315
33	R43	Sensibili	515188	4562328	60	150	240	330
34	R50	Sensibili	514405	4563439	45	135	225	315
35	R52	Non sensibili	517025	4559519	0	90	180	270
36	R53	Sensibili	516952	4560946	50	140	230	320
37	R55	Sensibili	518786	4561484	45	135	225	315
38	R56	Sensibili	519276	4561741	35	125	215	305
39	R4	Sensibili	514985	4562136	40	130	220	310
40	R19	Sensibili	514980	4562865	0	90	180	270
41	R24	Non sensibili	514835	4563517	70	160	250	340
42	R29	Non sensibili	514528	4563597	45	135	225	315
43	R30	Non sensibili	514743	4563580	35	125	215	305
44	R31	Non sensibili	514828	4563555	65	155	245	335
45	R33	Non sensibili	514985	4563464	0	90	180	270
46	R35A	Non sensibili	515156	4563294	30	120	210	300

47	R36	Non sensibili	515264	4563246	30	120	210	300
48	R37	Non sensibili	515318	4563205	25	115	205	295
49	R39	Sensibili	514830	4563062	60	150	240	330
50	R44	Non sensibili	515344	4561948	60	150	240	330
51	R45	Non sensibili	514787	4561532	20	110	200	290
52	R46	Non sensibili	514759	4561461	25	115	205	295
53	R47	Non sensibili	514366	4561196	20	110	200	290
54	R48	Non sensibili	514325	4562495	0	90	180	270
55	R49	Non sensibili	514290	4563339	45	135	225	315
56	R51	Non sensibili	514344	4563444	45	135	225	315
57	R54	Non sensibili	517157	4561119	50	140	230	320
58	R38	Non sensibili	515397	4563058	20	110	200	290

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 verde 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. Pertanto restano in valutazione 40 ricettori:

ID Shadow	Name	Tipo	E	N	Orient.fin. N=0°			
1	R1	Sensibili	514990	4562425	10	100	190	280
2	R2	Sensibili	515078	4562437	60	150	240	330
3	R3	Sensibili	514909	4562156	30	120	210	300

4	R5	Sensibili	515153	4562762	45	135	225	315
5	R6	Sensibili	514972	4563094	60	150	240	330
6	R7	Sensibili	514850	4563429	80	170	260	350
7	R8	Sensibili	514883	4563530	60	150	240	330
8	R9	Sensibili	514409	4563569	70	160	250	340
9	R10	Sensibili	514947	4562375	5	95	185	275
10	R11	Sensibili	514947	4562340	5	95	185	275
11	R12	Sensibili	515088	4562011	45	135	225	315
12	R13	Sensibili	514860	4561727	10	100	190	280
13	R14	Sensibili	515153	4562268	65	155	245	335
14	R15	Sensibili	515026	4562254	70	160	250	340
15	R16	Sensibili	514904	4562220	50	140	230	320
16	R17	Sensibili	515003	4562475	5	95	185	275
17	R18	Sensibili	518673	4561588	65	155	245	335
18	R20	Sensibili	513497	4562189	0	90	180	270
19	R21	Sensibili	515036	4563343	30	120	210	300
20	R22	Sensibili	515121	4563307	30	120	210	300
21	R23	Sensibili	515016	4563444	0	90	180	270
22	R25	Sensibili	514632	4563538	45	135	225	315
23	R26	Sensibili	514396	4563378	45	135	225	315
24	R27	Sensibili	514892	4562037	0	90	180	270
25	R28	Sensibili	514940	4563392	45	135	225	315
26	R29A	Sensibili	514574	4563600	45	135	225	315
27	R32	Sensibili	514947	4563461	0	90	180	270
28	R34	Sensibili	514949	4563316	30	120	210	300
29	R35	Sensibili	515132	4563273	30	120	210	300
30	R40	Sensibili	515039	4562367	70	160	250	340
31	R41	Sensibili	515042	4562194	40	130	220	310
32	R42	Sensibili	514789	4562021	45	135	225	315
33	R43	Sensibili	515188	4562328	60	150	240	330
34	R50	Sensibili	514405	4563439	45	135	225	315
36	R53	Sensibili	516952	4560946	50	140	230	320
37	R55	Sensibili	518786	4561484	45	135	225	315
38	R56	Sensibili	519276	4561741	35	125	215	305
39	R4	Sensibili	514985	4562136	40	130	220	310
40	R19	Sensibili	514980	4562865	0	90	180	270
49	R39	Sensibili	514830	4563062	60	150	240	330

Tabella 3 - Tabella riepilogativa dei ricettori sensibili

Per un approfondimento sulla tipologia di ricettore si rimanda alla tavola "AS251-SIA09-D_Verifica dei ricettori nell'area di studio" e "AS251-SIA06-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 40 recettori sensibili posti nell'area del 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. Graficamente è stato riportato il report a 1500 m in cui si può verificare che le ore di ombreggiamento sono inferiori a 50h/anno.

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 4402 h/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.

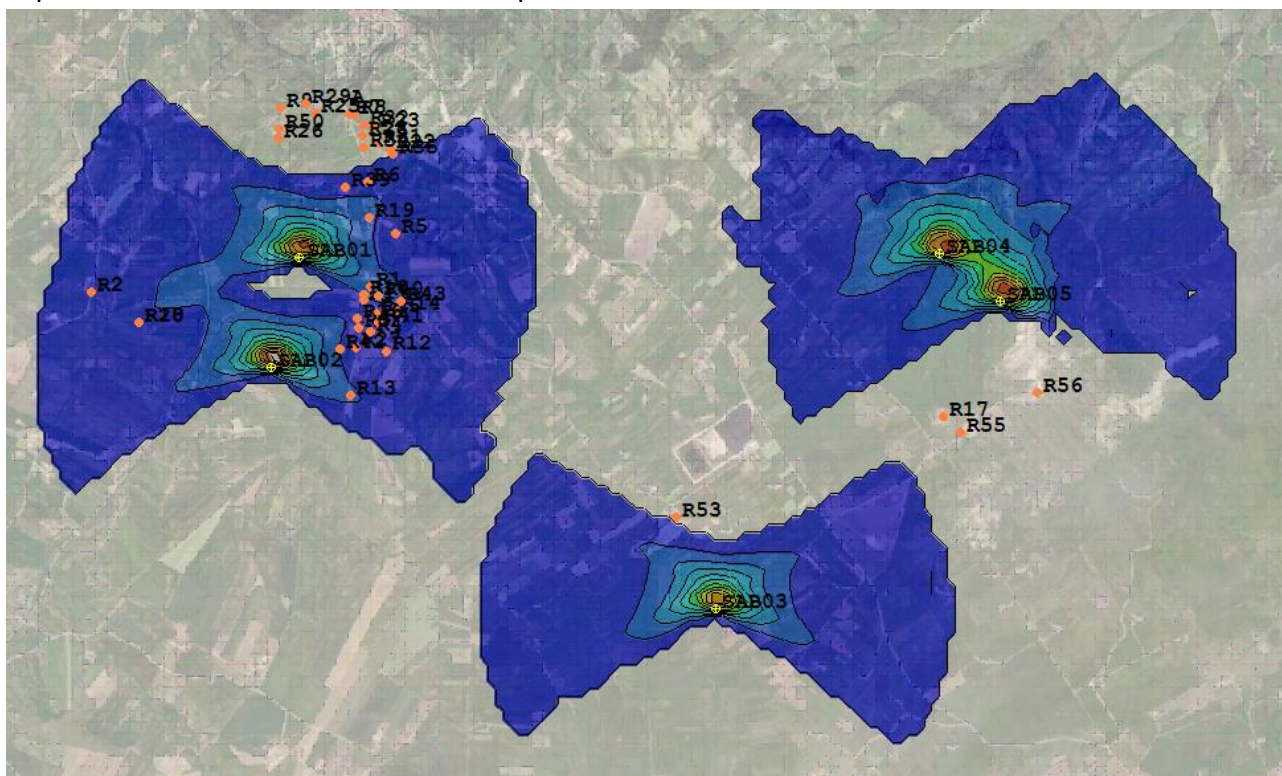


Figura 3 – Visualizzazione mappa delle ombre generate

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

per singola finestra e per intero ricettore, che si allegano in coda alla presente relazione, si riscontra che 22 ricettori superano le 30 h/anno di ombreggiamento.

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

Project : SAVIGNANO
 Run Name : KSavignano002.WFK
 Title : Sensibili
 Time : 01:53:56, 13 Jul 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	514990	4562425	175	1.32	0.88	154.5
2	513189	4562390	92	0.55	0.40	36.9
3	514909	4562156	109	0.99	0.59	64.3
4	515153	4562762	81	1.01	0.70	56.5
5	514972	4563094	69	0.91	0.74	51.0
6	514850	4563530	0	0.00	0.00	0.0
7	514883	4563530	0	0.00	0.00	0.0
8	514409	4563569	0	0.00	0.00	0.0
9	514946	4562374	152	1.05	0.72	109.6
10	514947	4562340	141	0.80	0.62	87.9
11	515088	4562011	65	0.75	0.50	32.4
12	514860	4561727	132	1.18	0.95	124.8
13	515153	4562268	153	0.73	0.44	67.3
14	515026	4562254	143	0.73	0.35	49.4
15	514904	4562220	118	0.92	0.64	75.7
16	518673	4561588	0	0.00	0.00	0.0
17	513497	4562189	148	0.73	0.57	84.0
18	513497	4562189	148	0.73	0.57	84.1
19	515036	4563343	0	0.00	0.00	0.0
20	515121	4563307	0	0.00	0.00	0.0
21	515016	4563443	0	0.00	0.00	0.0
22	514632	4563538	0	0.00	0.00	0.0
23	514396	4563378	0	0.00	0.00	0.0
24	514892	4562037	92	1.08	0.71	65.7
25	514940	4563392	0	0.00	0.00	0.0
26	514573	4563599	0	0.00	0.00	0.0
27	514947	4563461	0	0.00	0.00	0.0
28	514948	4563315	0	0.00	0.00	0.0
29	515132	4563272	0	0.00	0.00	0.0
30	515038	4562366	183	1.11	0.70	128.8
31	515042	4562194	79	0.71	0.44	34.9
32	514789	4562021	114	1.35	0.90	102.3
33	515187	4562328	189	0.88	0.52	98.3
34	514405	4563438	0	0.00	0.00	0.0
36	516951	4560945	0	0.00	0.00	0.0
37	518785	4561484	0	0.00	0.00	0.0
38	519276	4561741	0	0.00	0.00	0.0
39	514985	4562136	82	0.84	0.54	44.0
40	514979	4562865	144	1.26	0.88	126.4
49	514830	4563062	63	0.97	0.78	49.1

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 se i ricettori sensibili che subiscono più

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R
	Data 15/12/2023	Rev. 01	

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 alcune mitigazioni in fase di progettazione esecutiva del parco, come ad esempio piantare alberi addizionali allo scopo di schermare l'ombreggiamento verso le finestre più esposte.

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 2489 h/yr (rispetto alle 4402 h/yr considerate nel worst - case). I risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti mediamente del 43,45 %, pari al complemento a 1 del rapporto $2489/4402 = 56,55 \%$. In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 56,55 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi. Tale valore percentuale è un valore mediato nell'intero anno. Se si vuole essere ancora più realistici, bisogna considerare che i mesi in cui il fenomeno aumenta di durata, sono i mesi invernali in cui di fatto le ore di soleggiamento sono inferiori al 40 % come riportato in tabella n.2.

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 posizione del disco tra sole e ricettore (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 e della distribuzione di velocità del vento nell'area di studio. 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	Ricettore	Categoria catastale	Destinazione ricettore	Turbina più vicina	Distanza da turbina	Total hours wast case	Total hours real case	Total hours real case con frequenza di velocità <3m/s	Total MINUTI/GG
1	R1	A/4	uso abitativo	SAB01	495	154,5	87,3	69,83	11,5
2	R2	A/4	uso abitativo	SAB01	550	36,9	20,8	16,68	2,7
3	R3	A/4	uso abitativo	SAB02	605	64,3	36,3	29,06	4,8
4	R5	A/4	uso abitativo	SAB01	631	56,5	31,9	25,54	4,2
5	R6	A/2	uso abitativo	SAB01	638	51	28,8	23,05	3,8
6	R7	A/4	uso abitativo	SAB01	860	0	0	0	0,0
7	R8	A/4	uso abitativo	SAB01	969	0	0	0	0,0
8	R9	A/4	uso abitativo	SAB01	955	0	0	0	0,0
9	R10	A/4	uso abitativo	SAB01	500	109,6	61,9	49,54	8,1
10	R11	A/2	uso abitativo	SAB02	716	87,9	49,7	39,73	6,5
11	R12	A/4	uso abitativo	SAB02	744	32,4	18,3	14,64	2,4
12	R13	A/4	uso abitativo	SAB02	535	124,8	70,5	56,41	9,3
13	R14	A/4	uso abitativo	SAB02	873	67,3	38	30,42	5,0
14	R15	A/4	uso abitativo	SAB01	591	49,4	27,9	22,33	3,7
15	R16	A/4	uso abitativo	SAB01	530	75,7	42,8	34,22	5,6
16	R17	A/4	uso abitativo	SAB01	470	0	0	0	0,0
17	R18	A/4	uso abitativo	SAB05	809	84	47,5	37,97	6,2
18	R20	A/4	uso abitativo	SAB02	888	84,1	47,5	38,01	6,2
19	R21	A/2	uso abitativo	SAB01	872	0	0	0	0,0
20	R22	A/4	uso abitativo	SAB01	900	0	0	0	0,0
21	R23	A/2	uso abitativo	SAB01	938	0	0	0	0,0
22	R25	A/4	uso abitativo	SAB01	908	0	0	0	0,0
23	R26	D/10	Fabb.connessi att.agricola	SAB01	752	0	0	0	0,0
24	R27	A/4	uso abitativo	SAB02	553	65,7	37,1	29,7	4,9
25	R28	A/4	uso abitativo	SAB01	869	0	0	0	0,0
26	R29A	A/4	uso abitativo	SAB01	978	0	0	0	0,0
27	R32	A/4	uso abitativo	SAB01	931	0	0	0	0,0
28	R34	A/4	uso abitativo	SAB01	800	0	0	0	0,0
29	R35	A/4	uso abitativo	SAB01	883	0	0	0	0,0
30	R40	A/4	uso abitativo	SAB01	549	128,8	72,8	58,22	9,6
31	R41	A/4	uso abitativo	SAB01	649	34,9	19,7	15,77	2,6
32	R42	A/4	uso abitativo	SAB02	452	102,3	57,8	46,24	7,6
34	R50	F/2	unità collabenti	SAB01	821	0	0	0	0,0
36	R53	A/4	uso abitativo	SAB03	637	0	0	0	0,0
37	R55	A/4	uso abitativo	SAB05	833	0	0	0	0,0

38	R56	F/6	in attesa di dichiarazione	SAB05	607	0	0	0	0,0
39	R4	C/2	Deposito	SAB02	671	44	24,9	19,89	3,3
40	R19		Fabb.rurale	SAB01	515	126,4	71,4	57,13	9,4
49	R39	F/3	in corso di costruz.	SAB01	524	49,1	27,7	22,19	3,6

Tabella 6-Ore di ombreggiamento h/anno e min/gg

Dei 40 ricettori sensibili individuati nell'arco di 1 Km dagli aerogeneratori, 11 ricettori superano le 30 h/anno nel "caso-reale" ma nessun ricettore supera i 30 min/gg.

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. 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 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.

R 01

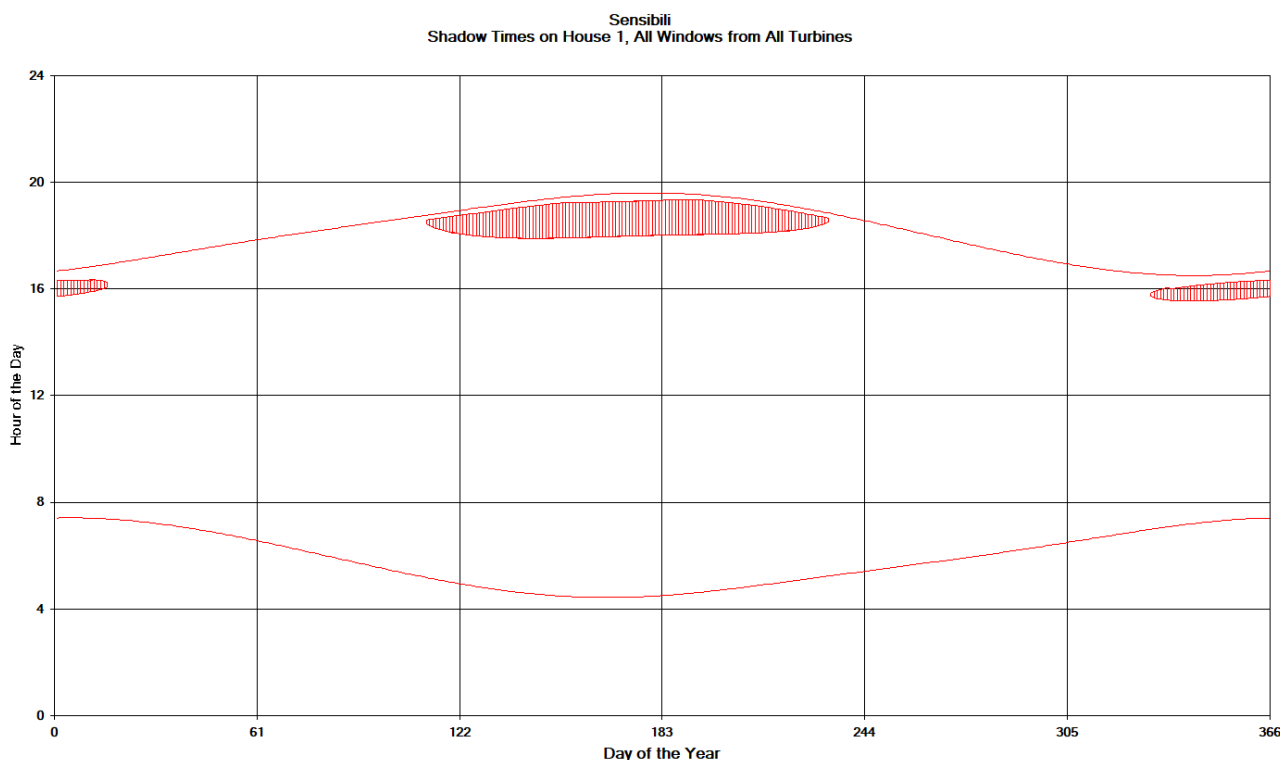


Figura 3: Calendario delle ombre per il ricettore R1

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 2 turbine:
 SAB 01: dal 21 aprile al 20 agosto tra le 17:53 e le 19:20

SAB 02: dal 1 gennaio al 16 gennaio tra le 15:43 e le 16:21 – dal 25 novembre al 31 dicembre tra le 15:33 e le 16:19

R 13

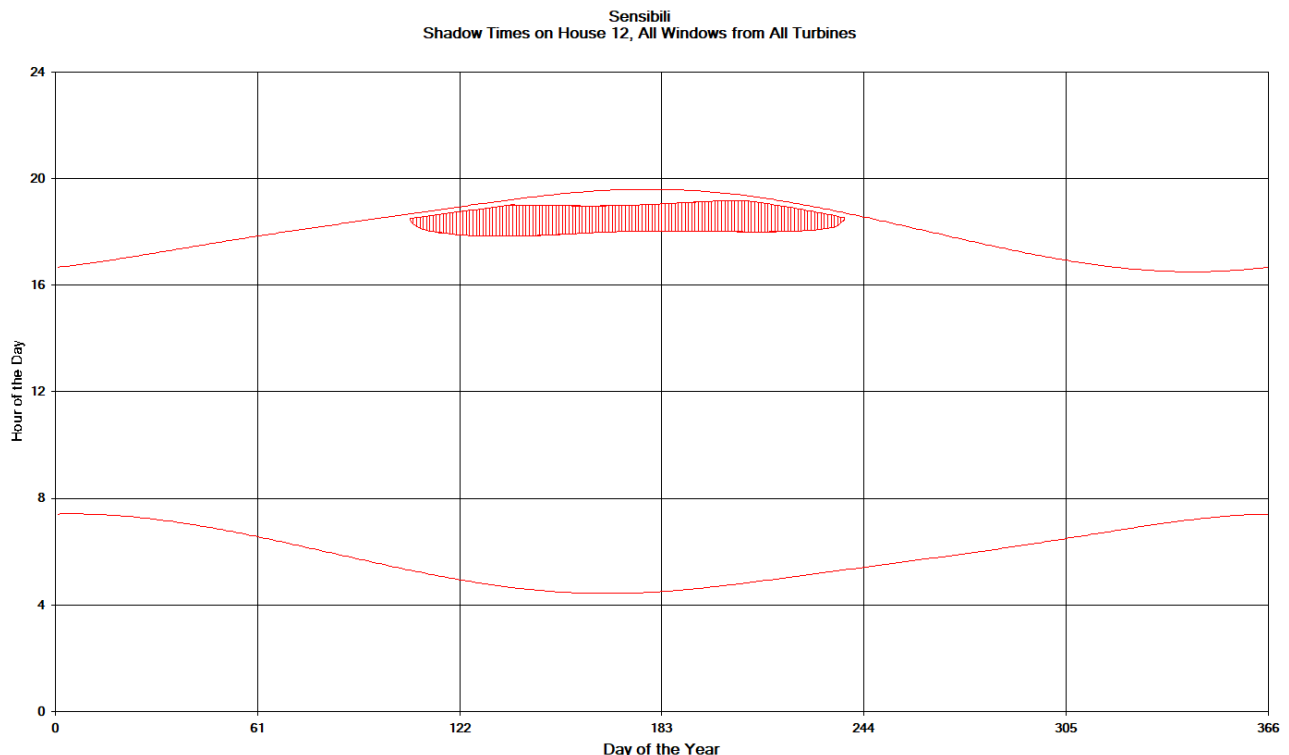


Figura 4: Calendario delle ombre per il ricettore R13

Dalla lettura del grafico si ha che l'ombreggiamento è determinato da 2 turbine:
 SAB 01: dal 11 maggio al 31 luglio tra le 18:36 e le 19:23

SAB 02: dal 15 gennaio al 18 febbraio tra le 16:38 e le 17:18 – dal 23 Ottobre al 27 Novembre tra le 16:09 e le 16:39

R 40

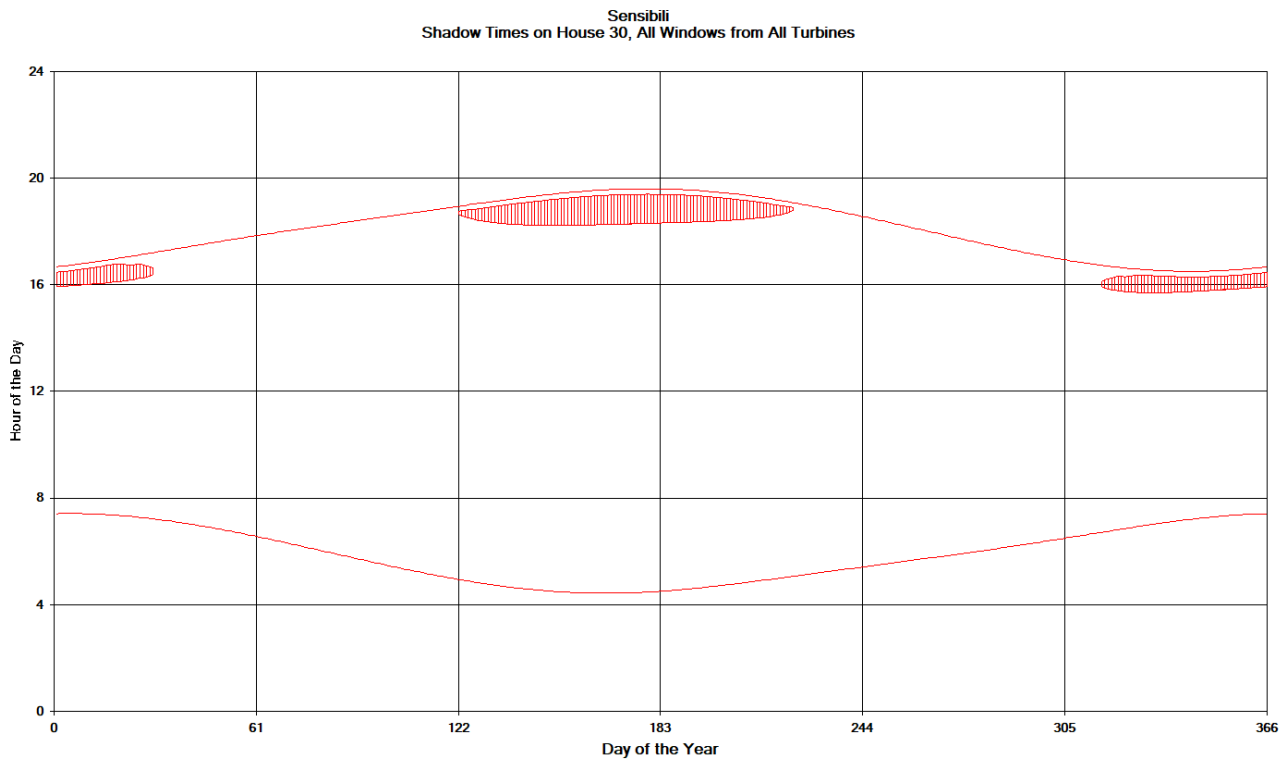


Figura 5: Calendario delle ombre per il ricettore R40

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

SAB 01: dal 01 maggio al 10 Agosto tra le 18:13 e le 19:23

SAB 02: dal 11 Novembre al 30 Gennaio tra le 15:41 e le 16:27

R 19

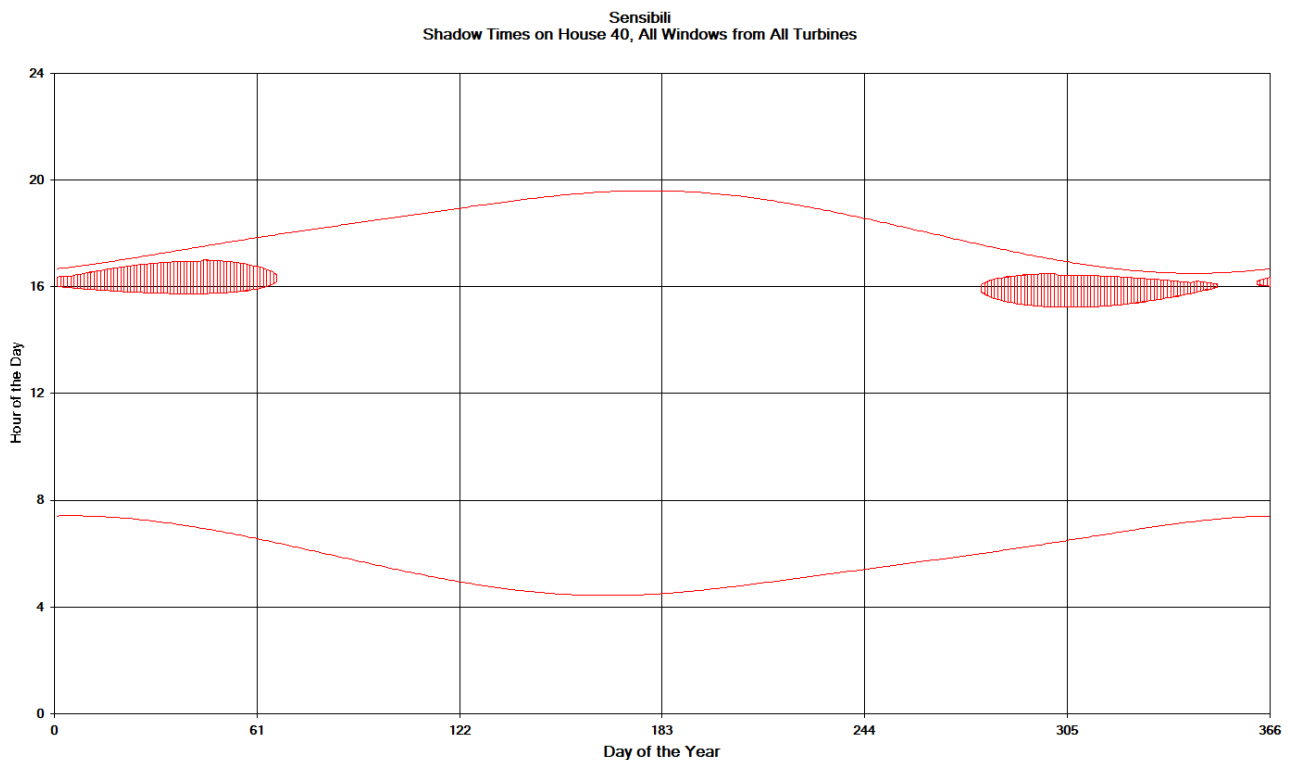


Figura 6: Calendario delle ombre per il ricettore R19

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

VIC 02: dal 05 Ottobre al 07 Marzo tra le 15:13 e le 17:00

Per dettagli orari si rinvia alla tabella degli ombreggiamenti di ogni singola turbina su singolo ricettore allegato alla presente.

7 MISURE DI MITIGAZIONE

Dall'analisi degli ombreggiamenti si nota che i ricettori sono interessati dal fenomeno di shadow flickering al tramonto o all'alba. Per questo motivo, il fenomeno si manifesta quando il sole è molto basso ad Est o ad Ovest della turbina eolica. Questo aspetto ci permette di asserire che qualora nella direzione turbina-ricettore ci siano degli ostacoli fisici (altre abitazioni) o naturali (alberature, filari, siepi) di altezza pari o superiore a quella delle finestre, l'effetto shadow sia annullato o fortemente mitigato.

Passando in rassegna le fotografie dei ricettori (Cfr. elaborato AS251-SIA06-D_SCHEDE REPORT DEI FABBRICATI E RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO) e dall'analisi cartografica, si propongono le seguenti mitigazioni ove non ci siano già elementi schermanti intorno ai ricettori:

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering	Cod. GS251-SIA07-R	
		Data 15/12/2023	Rev. 01

Ricettore	Elementi presenti nei dintorni del ricettore	Mitigazione proposta
R1	Alberature di cipressi lungo il perimetro dell'abitazione	
R10	Finestre assenti sul lato nord- Presenza di alberi sul lato Nord Ovest che certamente annullano l'effetto per le finestre al piano terra	Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Nord-Ovest del ricettore
R11		Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Nord-Ovest del ricettore
R13		Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Ovest della particella
R14		Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Sud-Ovest della particella
R16	Il ricettore è circondato da vegetazione di alto fusto	Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Nord-Ovest della particella
R18		Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Nord-Est della particella
R20	Il ricettore è già circondato da vegetazione di alto fusto	
R40		Alberature di altezza pari al filo superiore della finestra più alta sul lato Nord-Ovest della particella a confine con la strada comunale
R42	Il ricettore è già circondato da vegetazione di alto fusto che costituisce una siepe naturale intorno all'abitazione	
R19	Il ricettore è già circondato da vegetazione di alto fusto	

8 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 18 ricettori su 40 censiti sensibili sono esterni al cono d'ombra e 11 ricettori sono interessati dal fenomeno per più di 30 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

 Giglio Rinnovabili Srl Largo Augusto n.3 20122 Milano pec:gigliorinnovabili@legalmail.it	Studio evoluzione delle ombre Shadow flickering		Cod. GS251-SIA07-R
	Data 15/12/2023	Rev. 01	

distribuzione di velocità. Tale studio ha portato ad una drastica diminuzione del monte ore/annuo per ricettore.

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.

Dallo studio si evince che i ricettori sono posizionati a Est delle turbine e quindi il fenomeno è limitato alle sole ore del tramonto.

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.

Allegati

- Cartografia shadow flickering
- Tempo di ombreggiamento per ogni casa
- Ombreggiamento su singola finestra ipotizzata
- Tempo di ombreggiamento su singola casa di ogni turbina