

COMMITTENTE



GRV WIND SARDEGNA 6 S.R.L.  
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159  
20122 Milano PEC: grwindsardegna6@legalmail.it



PROGETTISTI



INSE S.r.l.  
Viale Michelangelo, 71 Tel. 081.579.7998  
80129 Napoli Mail: tecnico@inse.it

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

Collaboratori:  
Geol. S. Trastu  
Dott. F. Mascia  
Dott. M. Medda  
Ing. V. Triunfo  
Arch. C. Gaudiero  
Arch. C. Prisco  
Ing. F. Quarto



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SASSARI



ITTIRI

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "LUXI" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 7.2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 36 MW SITO NEL COMUNE DI ITTIRI (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ITTIRI (SS)**

ELABORATO

Titolo:

**STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)**

Tav: / Doc:

SI 09

Codice elaborato:

**AS266-SI09-R**

Scala / Formato:

1:- / A4

01	APRILE 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	GRV WIND SARDEGNA 6 Srl
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE



<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>	AS266-SI09-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

## 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>6</b>
<b>5</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DEI RECETTORI SENSIBILI .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>RISULTATI DELLE ELABORAZIONI E CONCLUSIONI.....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>21</b>

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>	AS266-SI09-R	
		Data Aprile 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.

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 (Verkujlen and Westra,1984). A tal proposito è utile sottolineare, che i più recenti aerogeneratori tripala operano con una velocità di rotazione inferiore ai 35giri al minuto (rpm), corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.7 Hz, quindi minore della frequenza critica dei 2.5Hz.

**Nella fattispecie i generatori utilizzati raggiungono una velocità di rotazione massima di 12 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.

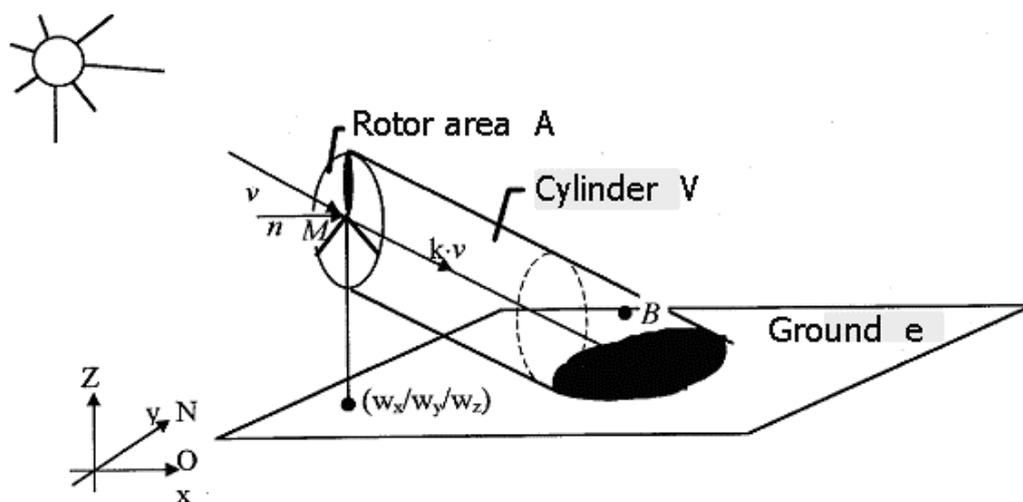


Figura 1 – Proiezione della turbina sul terreno

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.

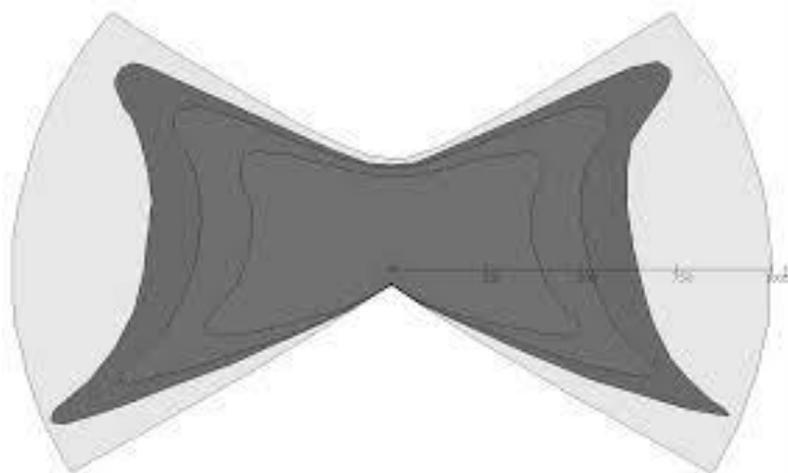


Figura 2 - Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

## 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.

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>	AS266-SI09-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

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 Vicari (PA) nel territorio della Regione Sicilia. 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 162 m ed un’altezza al mozzo di 119 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 UTM32		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.)
IT01	465096.472	4494370.777	476	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	676
IT02	465613.454	4494654.666	460	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	660
IT03	466608.000	4494220.000	505	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	705
IT04	466566.000	4493676.000	490	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	690
IT05	465436.239	4493476.720	474	VESTAS V162-7.2 MW	119	200	674

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 = 1,5 km;
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 1,5 Km in questo calcolo è stata effettuata per poterci inserire nel caso peggiorativo, come ampiamente sottolineato nei capitoli precedenti.

In relazione al punto 3 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 Capo Bellavista-cfr. "Reperto 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	4,82	149,42	744	20,08
Febbraio	5,83	163,24	672	24,29
Marzo	6,42	199,02	744	26,75
Aprile	7,23	216,9	720	30,13
Maggio	8,9	275,9	744	37,08
Giugno	10,23	306,9	720	42,63
Luglio	11,03	341,93	744	45,96
Agosto	11,1	344,1	744	46,25
Settembre	7,6	228	720	31,67
Ottobre	6,28	194,68	744	26,17
Novembre	5,02	150,6	720	20,92
Dicembre	4,37	135,47	744	18,21
TOT		2706	8760	

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 categoria catastale individuata:

RICETTORI COMUNE ITTIRI (SS)						
N.	FOGLIO	PARTICELLA	SUB	CATEGORIA	X	Y
R01	11	191		D/10	465215,1603	4495241,1889
R02	10	14			465873,6764	4494966,4185
R03	10	A			465990,0933	4494934,0070
R05	30	384	1	A/3	464850,9006	4493114,047
			2	C/6		
		385		C/2		
R06	29	389		C/2	464845,6089	4493322,5387
R07	29	438		D/10	464848,7575	4493495,6912
R08	29	400		C/2	464709,6393	4493389,9635
R09	29	208			464767,0011	4493560,7788
R10	29	210			464719,3760	4493622,1623
R11	29	395		C/2	464639,2071	4493771,4537
R12	29	397		C/2	464710,9754	4493817,3590
R13	28	399		C/2	464598,7257	4494102,6466
R14	28	51			464368,5378	4494112,1716
R15	28	892		C/2	464450,5985	4493982,9665
			2	C/2		
			3	C/2		
R16	28	909		F/2	464196,7302	4494319,5502
R17	29	422			464424,0078	4494286,2788
		423				
R18	28	38			464381,7273	4494188,1711
R19	9	392		D/10	465736,0351	4494039,1663
		393		D/10		
R20	9	414		C/2	465966,1877	4494058,4280
R21	29	433		D/10	464615,0580	4494205,2291
R22	29	391		C/2	465316,0124	4493809,1250
R23	29	233		C/2	465214,9413	4493569,6766
R24	29	429			465044,8139	4493520,7286
R25	29	412		D/10	464969,4075	4493593,4891

		413	1	D/10		
			2	D/10		
		414		D/10		
R26	29	420			465043,4910	4493380,4991
R27	30	404		C/2	465047,9889	4493301,9177
R28	30	255		D/10	465286,4289	4493197,9167
	30	51				
R29	30	376		D/10	465268,9735	4493001,162
		377		D/10		
		378		D/10		
		379		D/10		
		380		A/4		
R30	30	387	1	D/10	465751,8054	4493110,4864
			2	A/3		
R31	30	81			465585,3587	4493573,2925
R32	30	35			465394,0646	4493713,8748
R33	30	372		D/10	465724,7944	4493568,3536
R34	10	68		D/10	465716,8569	4494339,6156
		69		D/10		
R35	9	244			466334,6602	4494225,2272
R36	30	39			466245,7601	4494081,2936
		A				
R37	30	368		D/10	466345,2436	4493795,5430
R38	30	370		D/10	466372,7603	4493757,4429
R39	9	57			466495,5272	4494430,5443
R40	29	393	1	A/7	464742,5669	4493581,6805
			2	C/6		
R41	28	901			464360,6171	4494081,8709
R42	30	406		D/10	466192,1595	4492876,4955
		407		D/10		
R43	30	389		D/10	466410,1767	4493162,2461
R44	31	114		D/10	467202,8699	4492929,4123
		130		D/10		
R45	30	373		C/6	467381,7286	4493613,0970
R49	12	154			464451,1977	4494567,7156
R50	29	421			464454,3727	4494232,2232
R51	29	430			464462,8394	4493856,5141
	29	282				
R52	29	417			464716,8399	4493983,5144
	29	425				
R53	29	436		F/2	464687,2065	4493903,0809
R54	30	382		A/3	464950,7321	4492949,5207
R55	30	393		A/3	464819,4985	4492828,8704

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>		AS266-SI09-R	
			Data Aprile 2023	Rev. 01

		401				
R56	30	391		D/10	466007,4800	4493636,9095
		392		D/10		
R57	9	376		D/10	465697,9169	4493914,7226
R58	9	429		D/1	465507,9177	4494084,0790
R59	9	38			466135,9938	4495489,838
R60	9	41			466168,7252	4495399,103
R61	10	72			465905,8735	4494864,354
R64	30	20			466758,5737	4493762,006
R65	30	219			465232,3892	4493278,287
R66	30	46			465097,0704	4493352,042
R67	30	211			464980,0364	4492827,389
R68	35	1219			464488,3085	4493357,85
R69	29	416		C/2	464730,7005	4493334,42
R70	29	291			464455,18	4493705,086
R71	29	386			464471,2005	4493768,989
R72	28	765			464363,6308	4493894,041
R73	28	600			464264,6353	4493846,941
R74	28	603			464258,742	4493898,973
R75	12	114			464267,2549	4494550,851
R76	28	55			464231,9781	4494057,465
R77	28	37			464292,0744	4494179,908
R78	29	210			464786,7866	4493654,078
R79	29	213			464663,5791	4493699,701
R80	29	383			464648,296	4494548,979
R81	11	174			464908,2713	4495306,516
R82	29	258			464518,1554	4494367,382
R83	29	227			465305,675	4493764,168
R84	9	81			465952,7816	4494132,351
R85	29	84			464520,9369	4494126,837
R86	30	64			466023,4893	4493372,218
R87	29	198			464521,554	4494241,424

**RICETTORI COMUNE FLORINAS (SS)**

N.	FOGLIO	PARTICELLA	SUB	CATEGORIA	X	Y
R04	33	147			467522,8166	4494178,4216
R46	33	272		D/10	467590,2207	4494205,7648
		273		D/10		
		274		A/3		
R47	33	B			467437,8204	4494498,9238
R48	33	38			467224,0366	4494927,5496
R62	33	238			467092,5337	4494561,019
R63	33	228			467404,8243	4494008,496

Tabella 1: Ricettori nell'area

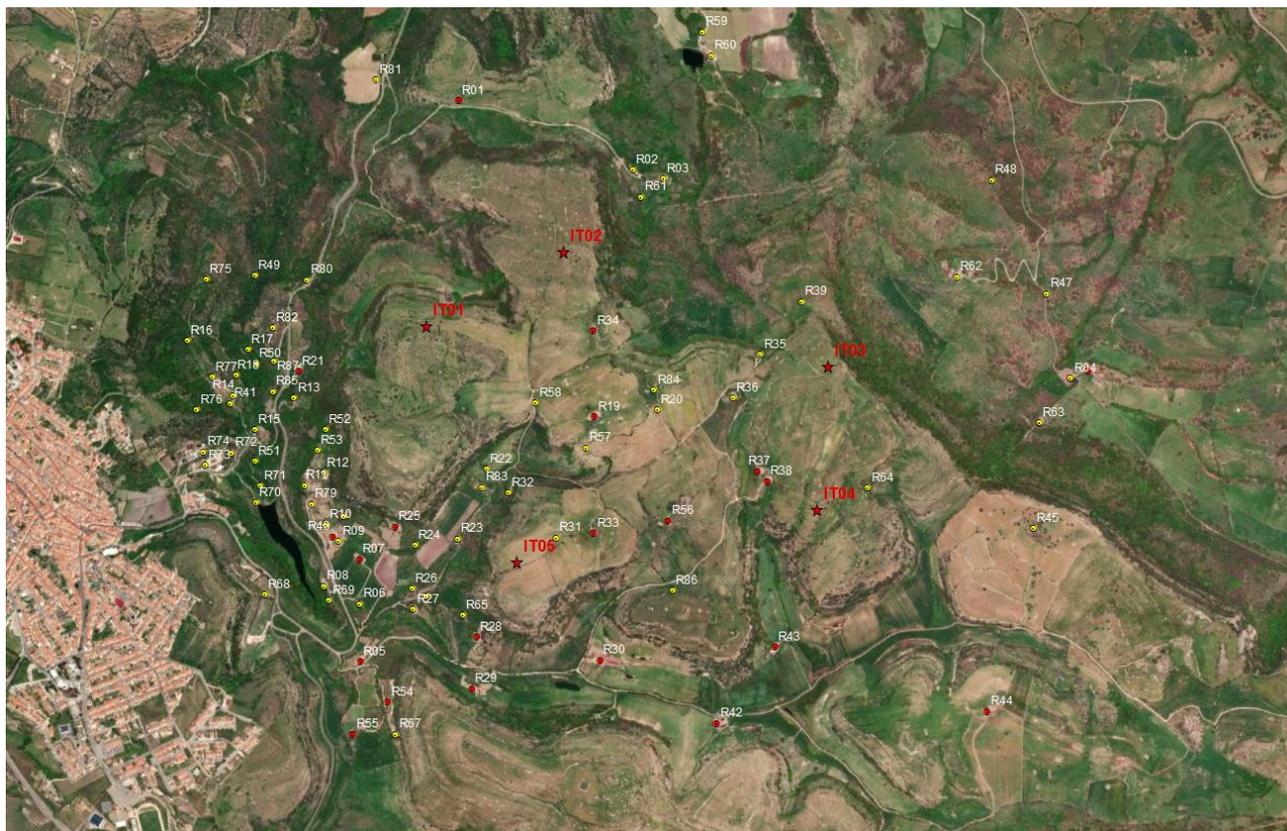


Figura 2: Individuazione dei ricettori nell'area di studio. In rosso i ricettori sensibili, in giallo i non sensibili

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.

ID.Shadow	Ricettore	Comune	Est	Nord	Tipo	Orientamento Finestre N=0			
1	R01	Ittiri	465215	4495241	sensibile	80	170	260	350
2	R05	Ittiri	464851	4493114	sensibile	45	135	225	315
3	R07	Ittiri	464849	4493496	sensibile	30	120	210	300
4	R19	Ittiri	465736	4494039	sensibile	80	170	260	350
5	R21	Ittiri	464615	4494205	sensibile	45	135	225	315
6	R25	Ittiri	464969	4493593	sensibile	20	110	200	290
7	R28	Ittiri	465286	4493198	sensibile	45	135	225	315
8	R29	Ittiri	465269	4493001	sensibile	20	110	200	290
9	R30	Ittiri	465752	4493110	sensibile	20	110	200	290
10	R33	Ittiri	465725	4493568	sensibile	20	110	200	290
11	R34	Ittiri	465717	4494340	sensibile	70	160	250	340
12	R37	Ittiri	466345	4493796	sensibile	10	100	190	280
13	R38	Ittiri	466373	4493757	sensibile	20	110	200	290
14	R40	Ittiri	464743	4493582	sensibile	45	135	225	315
15	R42	Ittiri	466192	4492876	sensibile	10	100	190	280
16	R43	Ittiri	466410	4493162	sensibile	45	135	225	315
17	R44	Ittiri	467203	4492929	sensibile	10	100	190	280
18	R54	Ittiri	464951	4492950	sensibile	80	170	260	350

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>				AS266-SI09-R	
					Data Aprile 2023	Rev. 01

19	R55	Ittiri	464819	4492829	sensibile	30	120	210	300
20	R56	Ittiri	466007	4493637	sensibile	45	135	225	315
21	R46	Ittiri	467590	4494206	sensibile	45	135	225	315

**Tabella 3 - Tabella riepilogativa dei ricettori sensibili**

Per un approfondimento sulla tipologia di ricettore si rimanda alla tavola “AS266-SI07-D\_VERIFICA DEI RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO” e “AS266-SI08-D\_SCHEDE 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 21 ricettori 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 1500m.

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.

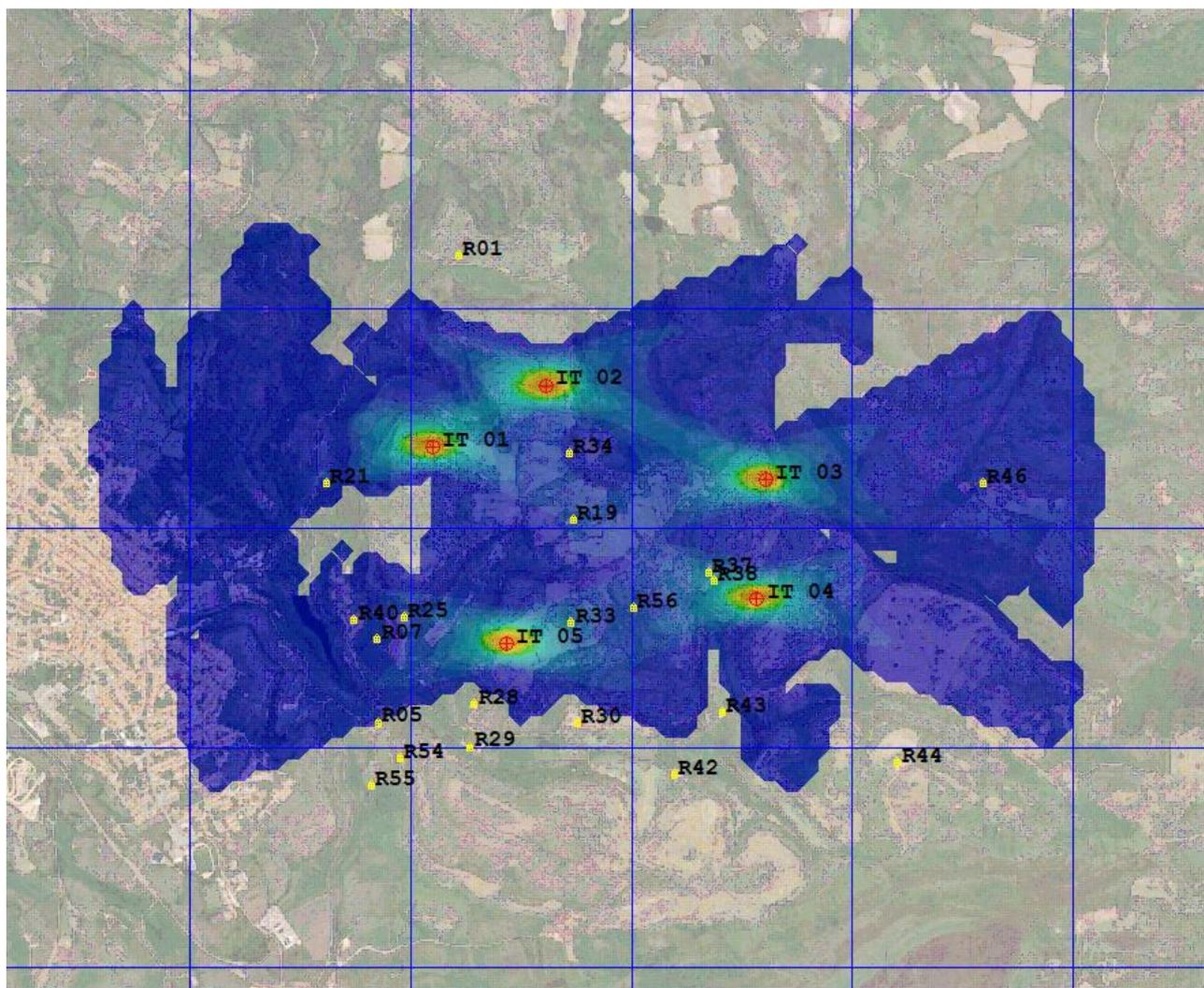


Figura 3 – Visualizzazione mappa delle ombre generate

Dall'analisi dei risultati cartografici si nota che 10 dei 21 ricettori sono esterni alle curve di ombreggiamento e quindi non subiscono alcun ombreggiamento. Solo 6 ricettori superano la curva delle 100 h/anno di ombreggiamento.

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

Project : ITTIRI  
 Run Name : KITTIRI001.WFK  
 Title : Shadow\_Ittiri  
 Time : 19:42:48, 27 Apr 2023

## 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	465215	4495241	0	0.00	0.00	0.0
2	464850	4493114	0	0.00	0.00	0.0
3	464848	4493495	81	1.03	0.80	65.0
4	465736	4494039	206	0.74	0.59	120.9
5	464615	4494205	97	1.12	0.90	87.5
6	464969	4493593	110	1.27	0.96	105.2
7	465286	4493197	0	0.00	0.00	0.0
8	465268	4493001	0	0.00	0.00	0.0
9	465751	4493110	0	0.00	0.00	0.0
10	465724	4493568	251	1.94	1.32	332.1
11	465716	4494339	124	1.06	0.78	96.9
12	466345	4493795	210	2.90	1.77	371.6
13	466372	4493757	238	3.20	2.02	479.6
14	464742	4493581	70	0.89	0.70	49.0
15	466192	4492876	0	0.00	0.00	0.0
16	466410	4493162	0	0.00	0.00	0.0
17	467202	4492929	0	0.00	0.00	0.0
18	464950	4492949	0	0.00	0.00	0.0
19	464819	4492828	0	0.00	0.00	0.0
20	466007	4493636	198	1.12	0.84	165.7
21	467590	4494205	118	0.64	0.41	48.6

Tabella 4-Ore di ombreggiamento caso worst case

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

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

Per l'area in esame tale valore di soleggiamento corrisponde a circa 2706 h/yr (rispetto alle 4380 h/yr considerate nel worst - case). I risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 38,2 %, pari al complemento a 1 del rapporto  $2706/4380 = 61,8 \%$ . In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce, per l'area in esame, al 61,8 % che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>		AS266-SI09-R	
			Data Aprile 2023	Rev. 01

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	Ricettore	Total hours worst case	Total hours real case	Total hours real case con frequenza di velocità <3m/s
1	R01	0,00	0,00	0,00
2	R05	0,00	0,00	0,00
3	R07	65,00	44,27	35,41
4	R19	120,90	82,33	65,87
5	R21	87,50	59,59	47,67
6	R25	105,20	71,64	57,31
7	R28	0,00	0,00	0,00
8	R29	0,00	0,00	0,00
9	R30	0,00	0,00	0,00
10	R33	332,10	226,16	180,93
11	R34	96,90	65,99	52,79
12	R37	371,60	253,06	202,45
13	R38	479,60	326,61	261,29
14	R40	49,00	33,37	26,70
15	R42	0,00	0,00	0,00
16	R43	0,00	0,00	0,00
17	R44	0,00	0,00	0,00
18	R54	0,00	0,00	0,00
19	R55	0,00	0,00	0,00

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>		AS266-SI09-R	
			Data Aprile 2023	Rev. 01

20	R56	165,70	112,84	90,27
21	R46	48,60	33,10	26,48

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

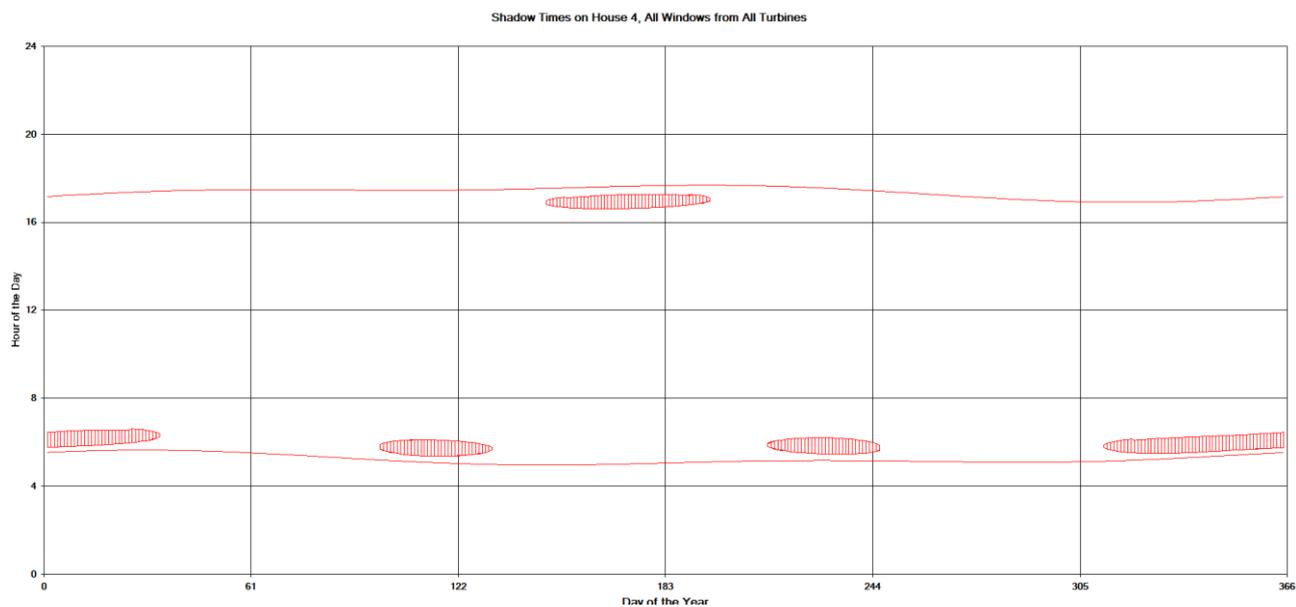
Dei 21 ricettori sensibili individuati nell'arco di 1 Km dagli aerogeneratori, solo 6 (R19 – R25 – R33 – R37 – R38 – R56) hanno un ombreggiamento superiore alle 50 h/anno.

Dall'analisi dei ricettori Cfr.Elaborato "AS266-SI08-D\_SCHEDE DEI FABBRICATI E RICETTORI NELL'AREA DI STUDIO" si riscontra che seppur l'analisi catastale abbia considerato tali ricettori come sensibili perché accatastati in categoria D10, in realtà sono adibiti a ricoveri attrezzi o ricovero animali o sono dei ruderi che non hanno alcuna caratteristica di abitabilità.

### **R19**



Il ricettore R19 non presenta finestre nella parte Nord-Ovest; presenta aperture cieche non finestrate verso Est e verso Ovest (zone dove maggiormente si risente dell'effetto shadow). Come si vede dal grafico, l'effetto è concentrato proprio nelle prime ore del mattino e nelle ore del tardo pomeriggio. Visto pertanto che ad Est e Ovest non ci sono aperture vetrate l'effetto può ritenersi trascurabile.



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

## R25

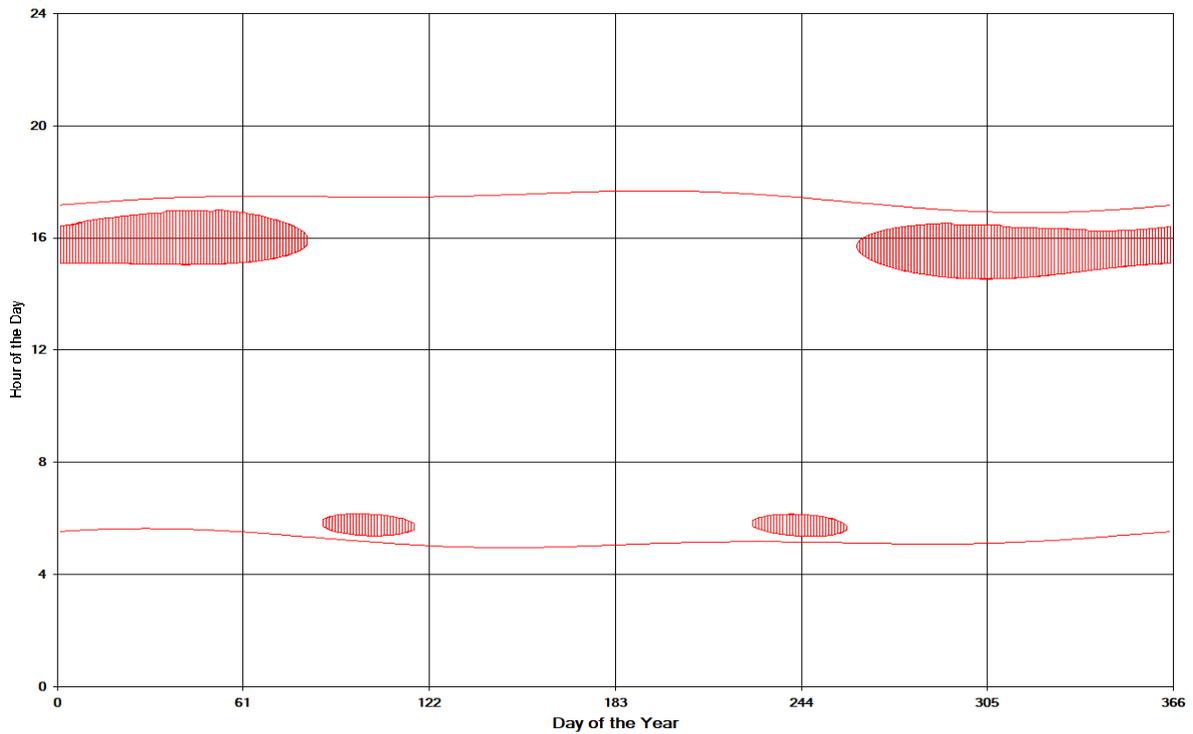


Il ricettore R 25 è un rudere con elementi per ricovero animali.

**R33**

Il ricettore R33 presenta aperture cieche non finestrate verso Est e verso Ovest (zone dove maggiormente si risente dell'effetto shadow). Come si vede dal grafico, l'effetto è concentrato proprio nelle prime ore del mattino e nelle ore del tardo pomeriggio. Visto pertanto che ad Est e Ovest non ci sono aperture vetrate l'effetto può ritenersi trascurabile.

Shadow Times on House 10, All Windows from All Turbines

**R37**

Il ricettore R37, non ha caratteristiche di abitabilità e si presenta come un rudere.

**R38**

Il ricettore R38, non ha caratteristiche di abitabilità e si presenta come un rudere.

**R56**

Il ricettore R56, non ha caratteristiche di abitabilità e si presenta come un ricovero animali o attrezzi agricoli.

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b> 	<b>Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)</b>	AS266-SI09-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

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, e verificata la reale consistenza di alcuni ricettori, si può notare l'effetto transitorio e quindi trascurabile del fenomeno.

## 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 10 ricettori su 21 sono esterni al cono d'ombra e solo alcuni ricettori sono interessati dal fenomeno per poco più di 100 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 frequenza delle velocità del vento. Tale studio ha portato ad una drastica diminuzione del monte ore/annuo per ricettore. Infine sono stati esaminati e analizzati i ricettori per i quali si ha un numero di ore/anno superiore a 50 rilevando la non sensibilità degli stessi o la non presenza di finestre trasparenti sui lati Est e Ovest che maggiormente risentono dell'effetto stroboscopico soprattutto nelle prime ore della giornata e al tramonto.

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.

Si allega:

- **Report degli ombreggiamenti per ogni ricettore e report degli eventi di ombreggiamento su singolo ricettore**
- **Mappa dell'ampiezza e durata di shadow flickering**

<b>GRV Wind Sardegna 6 S.r.l.</b>  Green Resources Value	Studio evoluzione ombre (Shadow flickering)	AS266-SI09-R	
		Data Aprile 2023	Rev. 01

## ALLEGATI