



REGIONE MOLISE



COMUNE DI RICCIA



COMUNE DI
CERCEMAGGIORE



PROVINCIA DI
CAMPOBASSO

Progetto definitivo per la realizzazione di un parco eolico da 39,2 MW nel Comune di Riccia (CB) con opere di connessione nel Comune di Cercemaggiore (CB)



Proponente	 <p>New green energy s.r.l. Via Diocleziano, 107 cap 80125 Napoli Tel:081-195 66613</p>			
Progettazione	 <p><i>Viale Michelangelo, 71</i> 80129 Napoli TEL.081 579 7998 mail: tecnico.inse@gmail.com</p>		<p>Amm. Francesco Di Maso Ing. Nicola Galdiero</p> <p>Collaboratori: Geol. V.E.Iervolino Dott. A. Ianiro Archeol. A. Vella Ing. V. Triunfo Arch. C. Gaudiero Dott.ssa M. Mauro Ing. E. Famà</p>	
Elaborato	<p>Nome Elaborato:</p> <p style="text-align: center;">STUDIO EVOLUZIONE OMBRA (SHADOW FLICKERING)</p>			
				
00	Giugno 2021	PRIMA EMISSIONE	INSE s.r.l.	INSE s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica
Formato:	A4		Codice Pratica	Codice Elaborato
		S216		AS216-SI09-R

Shadow flickering

Indice

1	<i>Introduzione allo shadow flickering</i>	2
2	<i>Principali parametri richiesti per il calcolo dello shadow flickering e software utilizzati</i>	4
3	<i>Aspetti normativi per il calcolo dello Shadow Flickering</i>	5
4	<i>Modello calcolo degli effetti di Shadow Flickering del parco eolico</i>	6
5	<i>Individuazione dei recettori sensibili</i>	8
6	<i>Risultati delle elaborazioni e conclusioni</i>	10

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 un velocità di rotazione inferiore ai 25giri al minuto (rpm), corrispondente ad una frequenza di passaggio di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1.7 Hz, quindi minore della frequenza critica dei 2.5Hz.

Nella fattispecie gli aerogeneratori utilizzati raggiungono una velocità di rotazione massima di 12rpm 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 sia posizionato dietro la torre.

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 caso di effetti prolungati nel tempo, di fermare le turbine durante questi momenti.

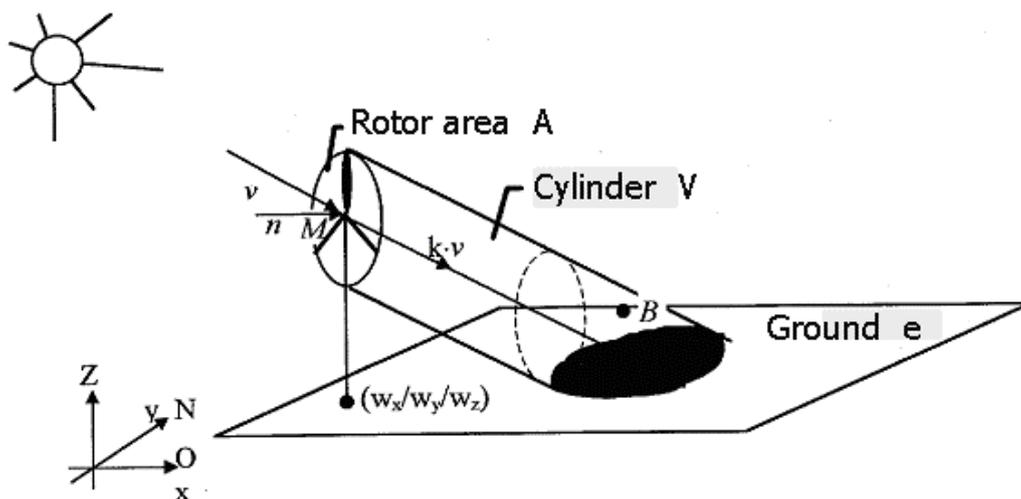


Figura 1 - Formazione dell'ombra sul terreno

La figura successiva riporta l'evoluzione annuale dell'ombra di una turbina considerando il caso peggiore di pale 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 dal pilone 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.

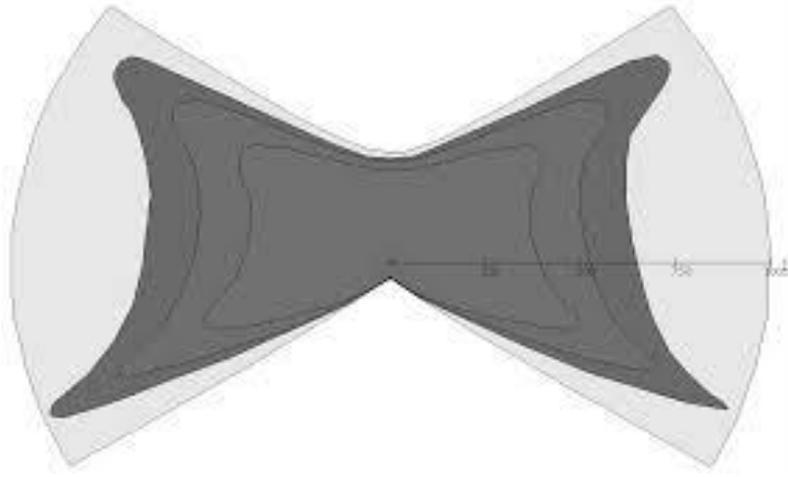


Figura 2 - Evoluzione annuale tipo dell'ombra di una pala

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 sono molteplici, sviluppati da diversi sviluppatori.

Per questo studio viene considerato il software WindFarmer di Garrad Hassan and Partners Ltd. Questo software, tramite il modulo “*intermittenza dell'ombra*”, consente di creare mappe per l'intermittenza dell'ombra e di analizzare l'intermittenza in punti specifici (recettori) attraverso la generazione di isolinee. Inoltre il software genera un *calendario* per ogni specifico recettore, il quale indica l'esatto giorno e l'ora in cui il recettore sarà interessato dall'ombreggiamento.

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 in prossimità delle 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, **il rotore** assimilato 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 una centrale eolica nel Comune di Riccia nel territorio della Regione Molise, in provincia di Campobasso. La normativa Regionale in materia di calcolo dell'ombreggiamento provocato da turbine eoliche risulta essere estremamente carente. Le linee guida Regionali che regolano l'inserimento degli impianti eolici richiedono di presentare come elaborato tecnico 'Effetti di Shadow Flickering' senza però precisare i parametri indispensabili per il calcolo dello stesso, né i limiti definiti come ore/anno di ombreggiamento per singolo recettore.

Se ci riferissimo all'Europa, ad oggi, solo la Germania ha emesso dettagliate linee guida contenenti limiti e condizioni per il calcolo dell'impatto derivante dallo Shadow Flickering.

Le linee guida Tedesche fissano i parametri per il calcolo dell'ombreggiamento, come di seguito riportati:

- L'angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento deve essere almeno 3°
- La percentuale di copertura del sole dalla pala deve essere almeno del 20%

Inoltre vengono definiti, anche i valori limite espressi in ore/anno di ombreggiamento presso un recettore prossimo ad una centrale eolica:

- Massimo 30 ore/annue di massima ombra astronomica (caso peggiore)
- Massimo 30 min/giorno di massima ombra astronomica (caso peggiore)
- Se è utilizzata una regolazione automatica sono previste come impatto d'ombra massimo 8 ore/annue

Pertanto, anche nel caso del calcolo in esame, 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

Sulla base di quanto descritto, si evidenzia la carenza della Normativa Italiana e, nel caso in esame, di quella Campana, per la definizione dei parametri necessari al calcolo dell'ombreggiamento.

Pertanto, per lo studio dell'effetto di ombreggiamento del parco eolico di Riccia, si utilizzeranno i parametri definiti dal metodo di calcolo tedesco, che oltretutto, come spiegato in dettaglio successivamente, risultano essere tra i più restrittivi che si possano considerare.

In ogni caso può considerarsi pienamente accettabile come valore limite di ore/anno di ombreggiamento, un valore massimo di 50 ore di ombreggiamento presso un singolo ricettore, tale da non arrecare nessun disturbo.

4 Modello calcolo degli effetti di Shadow Flickering del parco eolico

La presente relazione è stata redatta con lo scopo di analizzare l'effetto flickering indotto dagli aerogeneratori sui singoli recettori, rappresentati dai nuclei abitativi o dalle singole abitazioni.

Il calcolo degli effetti di shadow flickering per il parco eolico, è stato condotto grazie all'utilizzo del software WindFarmer di Garrad Hassan. Il modulo che ha permesso il calcolo è "Intermittenza dell'ombra".

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 i seguenti:

1. Angolo minimo del sole rispetto all'orizzonte da cui calcolare l'ombreggiamento pari a 3°
2. Distanza limite fino a cui calcolare l'ombreggiamento dalla turbina uguale a 1000m.

3. Percentuale di copertura minima del sole dalla pala = 20%
4. Intervallo di tempo per il calcolo dell'ombreggiamento = 1 minuto
5. Statistica di probabilità mensile di presenza di sole dedotta (descritta in seguito)
6. Modello DTM del terreno
7. Modello delle turbine

In relazione al punto 1 il valore di 3° è stato desunto da bibliografia e risulta anche essere il parametro di default impostato dal software, nonché il dato imposto dalla normativa Tedesca. Si usa in genere questo valore poiché per angoli inferiori la luce, dovendo attraversare uno strato di atmosfera maggiore, 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 è stata fatta prendendo spunto dalle Linee guida Tedesche, che come da bibliografia, riportano che ad una distanza massima di 2 Km, in piano, gli effetti dell'ombreggiamento risultano trascurabili. Altre fonti citano che l'ombreggiamento dovrebbe diventare non percepibile a distanze prossime ai 1000 metri. Questa scelta arbitraria è stata fatta sulla base del fatto che non è ancora stabilito dalla normativa qual è la distanza massima dalla turbina a cui si risente ancora dell'ombreggiamento. La scelta di considerare 1 Km in questo calcolo è stata fatta in relazione alla morfologia del territorio del sito in esame e alla diversa altitudine delle turbine rispetto ai recettori sensibili. In relazione al punto 3 il valore assunto, anch'esso, è stato dedotto dalle Linee guida Tedesche e risulta anche essere il parametro di default settato dal software, e risulta essere un valore restrittivo ai fini del calcolo.

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

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

Mesi	Valori medi mensili delle ore giornaliere di soleggiamento (ore/giorno)	ore di soleggiamento mensili	ore totali mensili	% di soleggiamento mensile
Gennaio	3,7	114	720	15,80
Febbraio	3,5	98	720	13,60
Marzo	4,5	139	720	19,30
Aprile	5,7	171	720	23,75
Maggio	6,7	201	720	27,90
Giugno	7,9	237	720	32,90
Luglio	8,9	276	720	38,30
Agosto	8,4	260	720	36,11
Settembre	7,1	213	720	29,58
Ottobre	5,2	161	720	22,36
Novembre	4,2	126	720	17,50
Dicembre	3,5	108	720	15,00

Tabella 1 - Ore di soleggiamento mensile zona di Riccia

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 peggiorativo, denominato "**worst case**", in cui la situazione reale risulterà ben al di sotto dei risultati ottenuti.

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 rurali definiti come tali dalle visure catastali. In particolare, sono stati considerati tutti gli edifici rientranti nella distanza di 1000 mt da ogni aerogeneratore e tutti quelli classificati alle categorie catastali da A1 a A10 e quelle classificate come B1-B2-B5-D4-D10.

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

R2	483462	4588939
R3	483496	4588877
R4	482745	4589282
R5	482706	4589578
R6	482723	4589715
R7	482981	4589646
R9	482637	4589768
R13	482858	4589959
R15	482931	4590090
R16	483285	4589918
R17	483435	4589852
R18	483613	4589825
R19	483641	4589607
R20	483796	4589614
R23	483814	4589751
R24	483852	4589696
R26	483972	4589681
R27	483677	4589965
R28	483801	4589895
R29	483955	4589910
R31	484196	4589665
R33	483988	4589416
R35	483929	4589204
R36	484127	4589416
R37	484155	4589453
R38	484083	4589300
R40	484218	4589461
R42	484128	4589235
R43	484084	4588975
R44	484560	4588997
R46	484577	4589421
R47	485130	4589517
R48	485503	4588840
R49	485471	4588778
R50	485653	4588585
R51	485681	4588548
R52	485995	4588056
R53	485977	4587859
R54	485807	4587758
R55	485455	4587599
R55	485455	4587599
R56	485618	4587338
R57	484957	4588030
R58	483291	4588722

Tabella 2 - Tabella riepilogativa dei ricettori sensibili

6 Risultati delle elaborazioni e conclusioni

L'elaborazioni per il calcolo dell'ombreggiamento provocato dalle turbine del parco eolico è stato condotto considerando 56 recettori sensibili posti nell'area circostante il parco.

Al di là di una certa distanza, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro del sole diventa piccolo. 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 generino le ombre, oltre agli input specificati precedentemente, che rendono il caso in oggetto nettamente peggiorativo portano ad un risultato come in tabella

RICETTORE	Worst case INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
R2	95
R3	96
R4	79
R5	62
R6	77
R7	94
R9	63
R13	no flicker
R15	no flicker
R16	no flicker
R17	no flicker
R18	no flicker
R19	114
R20	67
R23	53
R24	58
R26	28

RICETTORE	Worst case INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
R27	no flicker
R28	no flicker
R29	12
R31	no flicker
R33	28
R35	63
R36	20
R37	16
R38	63
R40	13
R42	69
R43	112
R44	307
R46	no flicker
R47	no flicker
R48	56
R49	87
R50	95
R51	82
R52	34
R53	37
R54	27
R55	133
R55	133
R56	89
R57	117
R58	42

Tabella 3 - Risultati di calcolo dello shadow flickering - worst case

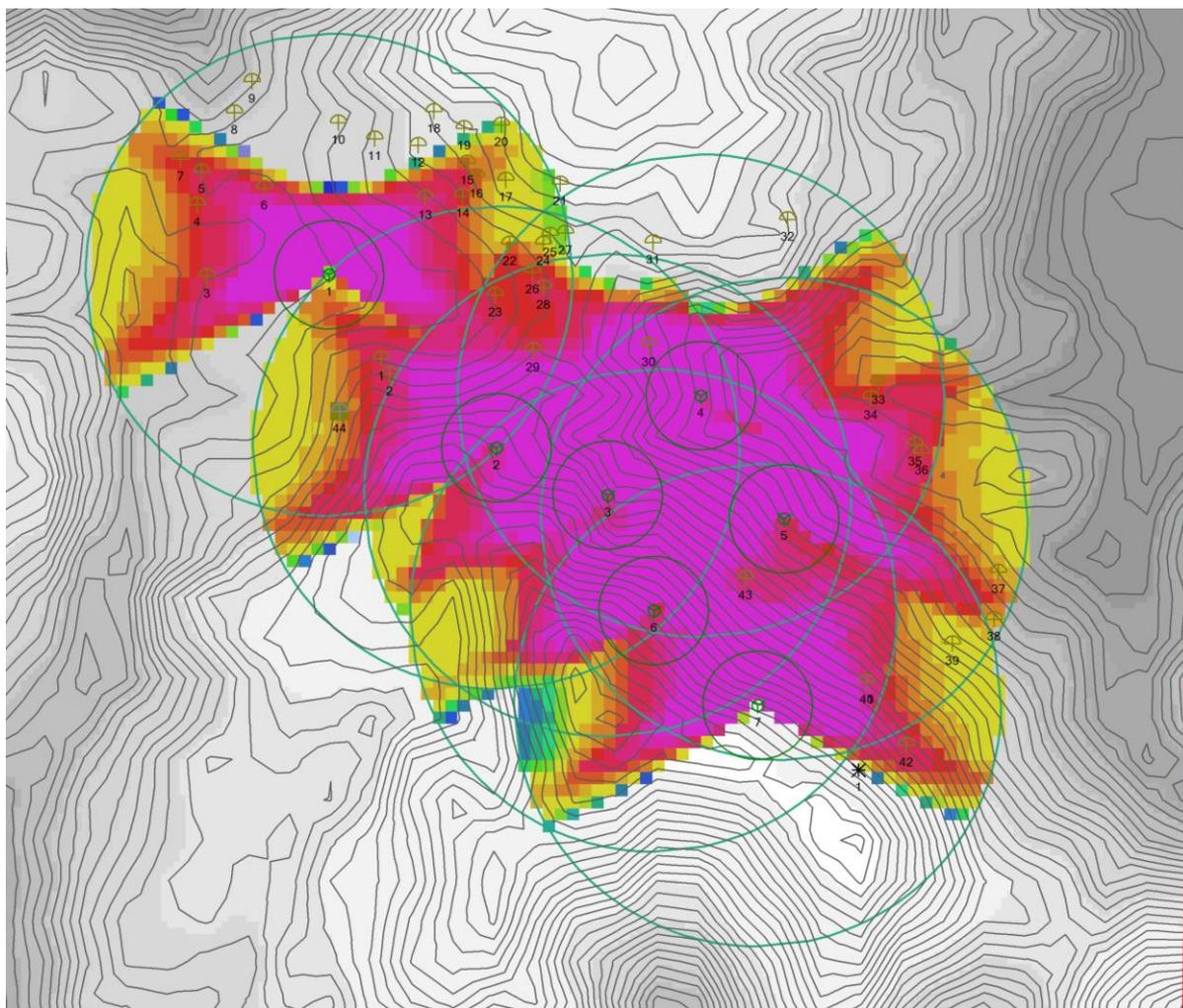


Figura 3 - Evoluzione annuale dell'ombra del campo eolico in progetto

I calcoli effettuati hanno determinato che 10 recettori non subiscono alcun effetto di ombreggiamento, come riportato nella tabella sopra. Mentre 10 recettori evidenziano un valore inferiore alle 50h/yr, soltanto 24 recettori presentano nel caso peggiorativo valori al di sopra della soglia stabilita.

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. Tale valore definisce il numero di ore di cielo libero da nubi durante la fase diurna di una giornata.

Per l'area di interesse tale valore corrisponde a circa **2104 h/yr** (rispetto alle 4380 h/yr considerate nel worst - case). Pertanto i risultati possono, ragionevolmente, essere abbattuti di circa il 52%, pari al complemento ad 1 del rapporto $2104/4380=48\%$; in altri termini rispetto al worst - case la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce al 48% . Tale valore corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

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 ogni caso, il calcolo nel real-case, è comunque

da considerarsi molto cautelativo in quanto nel calcolo vengono comunque utilizzate le condizioni al contorno del worst - case indicate nel capitolo 4.

RICETTORE	Worst case INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
R2	46
R3	46
R4	38
R5	30
R6	37
R7	45
R9	30
R13	no flicker
R15	no flicker
R16	no flicker
R17	no flicker
R18	no flicker
R19	55
R20	32
R23	25
R24	28
R26	13
R27	no flicker
R28	no flicker
R29	6
R31	no flicker
R33	13
R35	30
R36	10
R37	8
R38	30
R40	6
R42	33

RICETTORE	Worst case INTERMITTENZA OMBRE DI TUTTE LE TURBINE h/yr
R43	54
R44	147
R46	no flicker
R47	no flicker
R48	27
R49	42
R50	46
R51	39
R52	16
R53	18
R54	13
R55	64
R55	64
R56	43
R57	56
R58	20

Tabella 4 - Risultati di calcolo dello shadow flickering - real case

Alla luce di quanto descritto e dei calcoli effettuati, dei 24 recettori che superavano la soglia delle 50h/yr, soltanto 6 recettori subiscono un valore maggiore di ombreggiamento tale da determinare approfondimenti specifici

Ulteriori indagini potranno essere condotte su ogni singolo ricettore al fine di verificare che non si presentino schermature naturali, quali alberi o costruzioni varie che riducono l'impatto stesso, e che la disposizione delle finestre non sia in corrispondenza del rotore della pala; in tal caso l'impatto potrebbe addirittura annullarsi rispetto all'analisi del real-case.