



REGIONE
CALABRIA



PROVINCIA DI
CATANZARO



COMUNE DI
SIMERI CRICHI



COMUNE DI
CATANZARO

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto definitivo per la realizzazione del parco eolico "ROCCANI" e relative opere connesse nei comuni di SIMERI CRICHI (CZ) e CATANZARO

Titolo elaborato

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

OW320190200201BW1GL9801

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

dott.for. Luigi ZUCCARO
ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
ing. Giuseppe MANZI
ing. Mariagrazia PIETRAFESA
arch. Gaia TELESCA
ing. Flavio Gerardo TRIANI
ing. Manuela NARDOZZA
ing. Luca FRESCURA
ing. Denise TELESCA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

ARCHEOLOGIA

Paropos soc. coop.

Via G. Pecori Giraldi Maresciallo 16
90123 Palermo
www.paporos.com
muratore@pec.paporos.com

TOPOGRAFIA

Arch. Rocco CRISTOFARO

Via Senatore Todaro 92
88020 Cortale (CZ)
rocco.cristofaro@csassociati.eu
rocco.cristofaro@archiworldpec.it

GEOLOGIA

Geol. Pasquale GRECO

Via Chiusi 37
87044 Cosenza
pasquale.greco@gmail.com
pgreco64@epap.sicurezza postale.it

Committente



EDPR SUD ITALIA S.r.l.

Via Lepetit 8/10
20124 - Milano

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Giugno 2022	Prima emissione	FTR	GDS	GMA

File sorgente: OW320190200201BW1GL9801 - Studio sugli effetti dello shadow flickering .docx

Sommario

1	Premessa	3
2	Il fenomeno dello shadow flickering	4
3	Individuazione dei ricettori	7
4	Modello di calcolo	10
5	Risultati	12

1 Premessa

Il presente **studio sugli effetti dello shadow flickering** presentato, da parte della società EDPR SUD ITALIA S.r.l., direttamente controllata dal Socio Unico Edp Renewables Italia Holding S.r.l. sussidiaria Italiana della EDP Renewables, con sede legale in Via Lepetit 8/10, Milano, in qualità di proponente, è stato redatto in riferimento alla realizzazione di un parco eolico sito nel territorio comunale di Simeri Crichi in provincia di Catanzaro, e costituisce parte integrante del progetto definitivo.

L'intervento consiste nella realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica, costituito da n. 6 aerogeneratori da 6,0 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 36 MW e da tutte le opere connesse necessarie alla costruzione e all'esercizio dello stesso. In particolare, il territorio comunale di Simeri Crichi sarà interessato dall'installazione dei sei aerogeneratori mentre il tracciato del cavidotto di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) e le altre opere connesse interesseranno oltre al comune citato, anche il territorio comunale di Catanzaro.

Gli aerogeneratori che potranno essere installati sono delle seguenti tipologie: Vestas V150 o altro modello similare.

Il progetto proposto ricade **al punto 2 dell'elenco di cui all'allegato II alla Parte Seconda del d.lgs. n. 152/2006 e s.m.i., come modificato dal d.lgs. n. 104/2017, "impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza complessiva superiore a 30 MW"**, pertanto risulta soggetto al procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale per il quale il Ministero della transizione ecologica di concerto con il Ministero della cultura, svolge il ruolo di autorità competente in materia.

A tal proposito la Regione Calabria ha approvato nel 2005 (pubblicato sulla G.U.R.C. n. 12 al n. 5 del 16 marzo 2005) il Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR); successivamente, con dgr 18.6.2009 n. 358, sono state approvate le linee di indirizzo per l'aggiornamento dello stesso.

Invece, ancora non sono stati definitivi indirizzi per la valutazione degli impatti cumulativi di impianti di produzione di energia elettrica da fonte eolica; pertanto in mancanza di uno specifico riferimento sugli impatti cumulativi valido specificatamente per la Regione Calabria, ai fini della presente relazione si è tenuto conto di quanto previsto da altre Regioni, e nel dettaglio al **D.D. 162/2014** della Regione Puglia e alla **D.G.R. 532 del 04/10/2016** della Regione Calabria.

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello “shadow flickering” e di valutare il suo effetto nell'area circostante l'impianto eolico in progetto.

2 Il fenomeno dello shadow flickering

Gli aerogeneratori, al pari di tutte le altre strutture fortemente sviluppate in altezza, proiettano un’ombra sulle aree circostanti in presenza di irraggiamento solare diretto.

Lo shadow flickering (letteralmente ombreggiamento intermittente) è l’espressione comunemente impiegata per descrivere una fluttuazione periodica dell’intensità luminosa osservata. Tale effetto (stroboscopico) è causato dalla proiezione, su una generica superficie, dell’ombra indotta da oggetti in movimento. Nel caso specifico di un impianto eolico il fenomeno è generato dalla proiezione, al suolo o su un ricettore (abitazione), dell’ombra prodotta dalle pale degli aerogeneratori in rotazione allorché il sole si trova alle loro spalle (cfr. figura successiva).

Il fenomeno, dal punto di vista di un potenziale ricettore, si traduce in una variazione alternata e ciclica di intensità luminosa che, a lungo andare, può provocare fastidio agli occupanti delle abitazioni le cui finestre risultano esposte al fenomeno stesso. Il fenomeno, ovviamente, risulta assente sia quando il sole è oscurato da nuvole o dalla nebbia, sia quando, in assenza di vento, le pale dell’aerogeneratore non sono in rotazione.

In particolare, le frequenze che possono provocare un senso di fastidio sono comprese tra i 2,5 ed i 20 Hz (Verkuijlen and Westra, 1984), e, 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.

I più recenti aerogeneratori tripala operano ad una velocità di rotazione di molto inferiore ai 35 giri al minuto, corrispondente ad una frequenza di passaggio delle pale sulla verticale inferiore a 1,75 Hz, minore, quindi, della frequenza critica di 2,5 Hz riportata in letteratura. Inoltre, i generatori di grande potenza (dal MW in su) raramente superano la velocità di rotazione di 15 giri al minuto, corrispondente a frequenze di passaggio delle pale ampiamente minori di quelle ritenute fastidiose per la maggioranza degli individui.

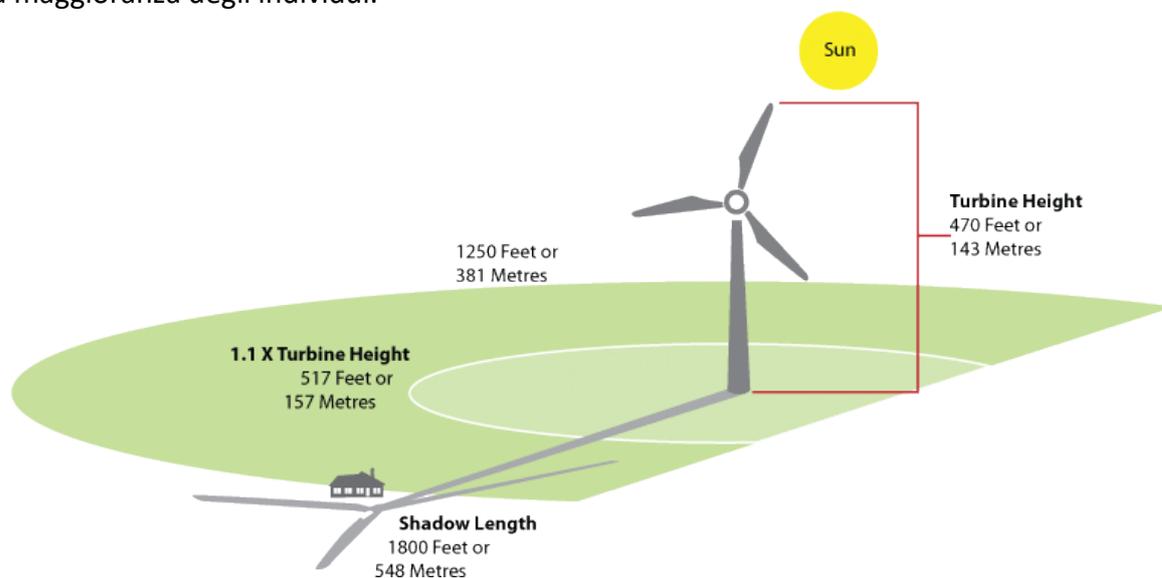


Figura 1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

Tale fenomeno, se sperimentato da un ricettore per periodi di tempo prolungati, può generare un disturbo, nelle seguenti condizioni:

- presenza di un livello sufficiente di intensità luminosa, ovvero in condizioni di cielo sereno sgombro da nubi ed in assenza di nebbia e con sole alto rispetto all'orizzonte;
- assenza di ostacoli sulla congiungente ricettore - aerogeneratore: la presenza di vegetazione e/o edifici interposti all'ombra generata da questi ultimi annullerebbe il fenomeno. Quindi, condizione favorevole affinché il fenomeno in esame si verifichi, è quella rappresentata dall'orientamento perpendicolare delle finestre di un'abitazione rispetto alla linea congiungente il ricettore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc....);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricettore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricettore, l'ombra proiettata dalle pale risulta muoversi all'interno di un “disco” che induce un effetto non trascurabile di shadow flickering; viceversa, nel caso in cui il piano del rotore risulti essere in linea con il sole, l'ombra proiettata risulterebbe molto assottigliata e di bassa intensità per cui l'effetto di shadow flickering sarebbe del tutto trascurabile.

Inoltre, affinché lo shadow flickering, abbia un'intensità non trascurabile è necessario che:

- la posizione del sole sia tale da produrre una luminosità sufficiente; tale condizione corrisponde, per la latitudine di progetto, in un'altezza del sole sull'orizzonte dell'ordine di almeno 10 gradi;
- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricettore non siano troppo distanti: infatti, le ombre proiettate in prossimità dell'aerogeneratore risultano di maggiore intensità rispetto a quelle proiettate ad una distanza crescente. Tale condizione deriva dal fatto che in presenza di un ricettore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricettore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricettore, le pale, durante il loro moto di rotazione, andranno a coprire una porzione sempre più piccola del disco solare, inducendo un effetto di flicker di minore intensità.

Alla luce di quanto sopra esposto, le relazioni spaziali tra un aerogeneratore ed un ricettore (abitazione), così come la direzione del vento risultano essere fattori chiave per la durata del fenomeno di shadow flicker. Per distanze dell'ordine dei 400-500 m, il fenomeno in esame potrebbe verificarsi all'alba oppure al tramonto, ovvero in quelle ore in cui le ombre risultano molto lunghe e la radiazione diretta è di minore intensità per effetto della piccola elevazione solare. Al di là di una certa distanza l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala ed il diametro apparente del sole diventa molto piccolo. Quindi, come è facile immaginare, la condizione più penalizzante corrisponde al caso in cui il piano del rotore risulti ortogonale alla congiungente ricettore – sole; infatti, in tali condizioni, l'ombra proiettata darà origine ad un cerchio di diametro pari a quello del rotore del generatore eolico.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all'esterno, esso risulta evidente e fastidioso in quegli ambienti con finestrate rivolte verso le ombre. In generale, l'area soggetta a shadow flicker non si estende oltre i 500-1.000 m dall'aerogeneratore e le zone a maggiore impatto ricadono entro i 500 m di distanza dalle macchine con durata del fenomeno dell'ordine delle 200

ore all’anno; il flickering, se presente, non supera in genere i 30/40 minuti di durata potenziale nell’arco di una giornata.

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 definitiva, si può affermare che:

- avendo le pale una forma rastremata con lo 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 ricettore;
- 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 flickering risulterà meno intenso e distinto.

La presente relazione ha lo scopo di stimare le aree potenzialmente interessate dal fenomeno in relazione agli aerogeneratori che costituiscono il parco eolico in oggetto.

Nello specifico, quando si valuta l’impatto da shadow flickering, lo stesso può essere realizzato attraverso l’analisi di due casi specifici:

- il **worst case**, in cui viene valutata la massima durata del fenomeno, ovvero quella astronomica, che corrisponde alle condizioni di cielo sempre sgombro da nubi, di rotore in movimento continuo e di perpendicolarità tra quest’ultimo ed il potenziale ricettore;
- il **real case**, in cui viene valutata la durata realistica del fenomeno, tenendo conto del soleggiamento effettivo dell’area e delle specifiche condizioni anemologiche che determinano la reale operabilità degli aerogeneratori.

3 Individuazione dei ricettori

Allo scopo di valutare l’impatto indotto sugli edifici da parte dell’impianto eolico in progetto, sono stati individuati i ricettori potenzialmente sensibili presenti in un’areale corrispondente all’involuppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1.500 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 150 m al massimo), con centro coincidente con le postazioni delle WTG in oggetto; ciò in accordo con quanto stabilito dalla “National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)” (UK, 2011) (PPS22 per l’Inghilterra, TAN8 per il Galles), secondo la quale è improbabile che si verifichi un impatto significativo da shadow flickering a distanze superiori a dieci volte il diametro del rotore.

Sebbene il fenomeno possa essere percepito anche all’esterno degli edifici, esso risulta evidente e potenzialmente fastidioso in quegli ambienti con finestre localizzate lungo la direttrice sole-aerogeneratore e, per tale ragione, si è considerato nella simulazione la presenza di finestre di altezza pari a 1,5 metri e larghezza pari ad 1 metro, posizionate ad una quota dal suolo di 2 metri e disposte su tutte le facciate degli edifici considerati, in direzione dei quattro punti cardinali (N-E-S-W).

Di seguito sono riportati i riferimenti geografici dei potenziali ricettori individuati nel buffer sopra specificato.

Tabella 1: ricettori considerati nella presente analisi

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
R01	641825	4310172	A3	Simeri Crichi
R02	644034	4308791	A4-C2	Simeri-Crichi
R03	645508	4306421	A7	Simeri-Crichi
R04	645514	4306389	A2	Simeri-Crichi
R05	645499	4306333	A7	Simeri-Crichi
R06	645527	4306318	A03	Simeri-Crichi
R07	646465	4305822	A03	Simeri-Crichi
R08	646476	4305734	A3	Simeri-Crichi
R09	647420	4305907	A03	Sellia Marina
R10	647449	4306584	A03/C06	Soveria Simeri
R11	647367	4306595	A02/A03/C02	Soveria Simeri
R12	647357	4306619	A02/A03/C02	Soveria Simeri
R13	647174	4306667	A07	Soveria Simeri
R14	647338	4306646	A02/A03/C02	Soveria Simeri
R15	647342	4306651	A02/A03/C02	Soveria Simeri
R16	647322	4306685	A04/C02	Soveria Simeri
R17	647325	4306696	A04/C02	Soveria Simeri

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
R18	647317	4306707	A04/C02	Soveria Simeri
R19	647241	4306820	A04/C02	Soveria Simeri
R20	647145	4306935	A03/A04/F01	Soveria Simeri
R21	647071	4306997	A03/F03	Soveria Simeri
R22	647040	4307048	A03/C06	Soveria Simeri
R23	646873	4307179	A04/C02/C07	Soveria Simeri
R24	646879	4307160	A03	Soveria Simeri
R25	646864	4307194	A03/F02	Soveria Simeri
R26	646689	4307340	A03/C02	Soveria Simeri
R27	646325	4307637	A03	Soveria Simeri
R28	645474	4308500	A01	Soveria Simeri
R29	645579	4308614	A02	Soveria Simeri
R30	645440	4308926	A02/A03/D10	Soveria Simeri
R31	645418	4308934	A02/D10	Soveria Simeri
R32	645430	4308950	A02/A03/D10	Soveria Simeri
R33	645399	4308958	A03/F05	Soveria Simeri
R34	645234	4309047	A03/A10	Soveria Simeri
R35	645257	4309055	A03/A10	Soveria Simeri
R36	645315	4309087	A04	Soveria Simeri
R37	645344	4309046	A07	Soveria Simeri
R38	643457	4309203	A04	Simeri Crichi
R39	643191	4309422	A03/F03	Simeri Crichi
R40	643255	4309478	A07/C02/F03	Simeri Crichi
R41	643141	4309706	A03/A02	Simeri Crichi
R42	643134	4309719	A03/A02	Simeri Crichi
R43	643123	4309704	A03	Simeri Crichi
R44	643061	4310370	A03	Simeri Crichi
R45	643127	4310445	A03	Simeri Crichi
R46	643153	4310737	A03	Simeri Crichi
R47	643318	4310757	A03/F05	Simeri Crichi
R48	643339	4310737	A03	Simeri Crichi
R49	642905	4308207	A03	Simeri Crichi
R50	642920	4308291	A03	Simeri Crichi
R51	642965	4308259	A03/F01	Simeri Crichi
R52	642976	4308280	A02	Simeri Crichi
R53	642974	4308233	A03/A04/C02	Simeri Crichi

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria catastale	Comune
	Est	Nord		
R54	642945	4308138	A03	Simeri Crichi
R55	642979	4308132	A04	Simeri Crichi
R56	643023	4308153	A03	Simeri Crichi
R57	642763	4307894	A03/F01	Simeri Crichi
R58	642774	4307920	A03	Simeri Crichi
R59	642810	4307764	A03/C02/F05	Simeri Crichi
R60	643177	4307848	A02	Simeri Crichi
R61	642872	4307556	A02	Simeri Crichi

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto (D max 150 m, h Hub 105 m).

Tabella 2:Coordinate coordinate aerogeneratori

WTG	D rotore	H tot	Coordinate UTM-WGS84 zone 33N	
			Est	Nord
T1	150	180	646031	4306408
T2	150	180	645268	4306998
T3	150	180	644682	4307698
T4	150	180	644167	4308260
T5	150	180	642096	4309373
T6	150	180	642130	4309919

4 Modello di calcolo

L'analisi dell'impatto da shadow flickering prodotto da un parco eolico è realizzata, generalmente, attraverso l'impiego di specifici applicativi che modellano il fenomeno in esame. I pacchetti software impiegati comunemente per la progettazione di impianti eolici contengono moduli specifici per il calcolo e l'analisi del fenomeno di flickering.

L'analisi si basa necessariamente sull'impiego di un modello digitale del terreno dell'area oggetto di progettazione, sulle posizioni (E, N, quota) degli aerogeneratori e dei potenziali ricettori sensibili, nonché sui dati che correlano la posizione del sole nell'arco dell'anno con le condizioni operative delle turbine nello stesso arco di tempo.

Al fine di calcolare la posizione relativa del sole nell'arco di un anno rispetto al parco eolico ed ai ricettori è necessario definire la longitudine, la latitudine ed il fuso orario dell'area interessata dal progetto (coordinate baricentriche del dominio di calcolo).

Nello specifico, nel presente studio, è stato impiegato il modulo shadow flickering del software WindFarm 5.0.1.2 (ReSoft Limited©). Esso consente di analizzare la posizione del sole nell'arco di un anno allo scopo di identificare i tempi in cui ogni aerogeneratore può proiettare ombre sulle finestre delle abitazioni vicine. In particolare, il modello permette di:

- calcolare il potenziale per le ombre intermittenti alle finestre delle abitazioni;
- mostrare un calendario grafico degli eventi di flickering;
- mostrare un elenco dettagliato di ciascun evento di ombreggiamento (ora di inizio, di fine, durata del fenomeno, aerogeneratore/i coinvolti ecc...);
- creare mappe di impatto potenziale che mostrano le ore d'ombra intermittente per l'intero parco eolico o per le singole macchine (curve di isodurata) nell'arco dell'anno.

Al di là di una certa distanza, come già osservato, l'ombra smette di essere un problema perché il rapporto tra lo spessore della pala e il diametro apparente del disco solare diventa piccolo. Poiché non vi è un valore generalmente accettato per questa distanza massima, WindFarm permette di specificare il limite in metri o multipli del diametro o dell'altezza complessiva del generatore eolico.

Come accennato sopra, nel caso in esame, per quanto concerne le simulazioni effettuate, si è assunta una distanza massima di influenza del fenomeno in esame pari a 10 volte il diametro dell'aerogeneratore di progetto (1.500 m) ed un angolo minimo di altezza del sole sull'orizzonte pari a 3°. Tali assunzioni di input al modello risultano molto conservative in relazione a quanto espresso sopra in termini teorici in riferimento al fenomeno di shadow flickering.

In particolare, il modello numerico utilizzato, al pari degli altri presenti sul mercato, produce in output una mappa di impatto nel caso più penalizzante, il così detto “WORST CASE”, corrispondente alle ore in cui il sole permane al di sopra dell'orizzonte nell'arco dell'anno (ore di luce, ca. 4.380 h/a), indipendentemente dalla presenza o meno di nubi, le quali inficerebbero il fenomeno stesso dello shadow flickering per l'impossibilità che si generino ombre.

Nello specifico, il worst case è caratterizzato dalle seguenti ipotesi:

- assenza di qualsiasi ostacolo naturale o artificiale (alberature, muri di cinta, edifici, ecc...), ad eccezione dell'orografia dell'area, frapposto tra i ricettori e gli aerogeneratori, tale da limitare o eliminare completamente il fenomeno dello shadow flickering;
- aerogeneratori sempre operativi;

- presenza di sole durante tutto il periodo diurno dell’anno (assenza di nubi);
- perpendicolarità tra il piano del rotore e la congiungente sole-ricettore (worst case wind direction), ovvero l’aerogeneratore insegue il sole;

Ciò considerato si evince che i risultati ai quali si perverrà risultano estremamente cautelativi, trattandosi di una stima puramente teorica.

Quindi, allo scopo di pervenire a valori più realistici di impatto, prossimi al caso reale (REAL CASE), si dovrebbe considerare il valore di eliofania locale, ovvero il numero di ore di cielo libero da nubi durante il giorno, e quello delle ore stimate di funzionamento dell’impianto eolico nell’arco dell’anno. Per l’area in esame il valore medio di eliofania corrisponde a circa 2.400 h/a^{1,2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 49,77 %, pari al complemento a 1 del rapporto $2.400/4.380 = 54,79\%$.

In altri termini, rispetto al WORST CASE, la probabilità di occorrenza del fenomeno di shadow flickering si riduce realisticamente, per l’area in esame, al 45,21% del valore calcolato dal modello impiegato e che corrisponde proprio alla probabilità che il disco solare risulti libero da nubi.

Inoltre, dal momento che il fenomeno in esame è prodotto dalla contemporanea presenza di sole libero da nubi (potenzialità di generare ombre) e di velocità del vento superiori a quella di cut-in (rotore in moto), i valori calcolati dal modello (considerando la condizione più penalizzante di rotore permanentemente in moto) possono essere ulteriormente abbattuti di una percentuale corrispondente alle ore annue di effettivo funzionamento macchina rispetto al totale delle ore in un anno (8.760 h).

Per il parco eolico in esame le ore macchina sono state stimate pari al 86,70%³ delle ore anno, ovvero 7.595 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell’ordine del 86,70% (pari appunto al rapporto $7.595/8.760$).

In definitiva, i valori calcolati dal modello numerico (ore di ombreggiamento intermittente all’anno presso i diversi ricettori individuati) possono, realisticamente, essere ridotti di un fattore pari al complemento a 1 del prodotto $86,70\% \times 45,21\% = 39,19\%$, ovvero **60,81 %**, corrispondente alla probabilità composta di avere contemporaneamente l’occorrenza di rotore in rotazione (vento) e sole libero da nubi (ombre), fenomeni, questi ultimi, stocasticamente indipendenti per cui la probabilità composta risulta pari al prodotto delle singole probabilità.

¹ Pinna M. (1985). L’eliofania in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 39: pag. 23-58.

² Lavagnini A., Martorelli S., Coretti C. (1987). Radiazione solare in Italia. Mappe mensili della radiazione globale giornaliera. Roma, CNR, Ist. Fis. Atm., pag. 48.

³ Considerando il report anemologico disponibile ed il fatto che la wtg prevista in progetto è caratterizzata da una velocità di cut-in dell’ordine di 3 m/s, le ore macchina dovrebbero essere dell’ordine del 89,36% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell’impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l’assunzione del 86,70% sembra molto ragionevole.

5 Risultati

Al fine di verificare la presenza e l'intensità del fenomeno dello shadow flickering indotto dal parco eolico in progetto sono state effettuate una serie di simulazioni con software dedicato che hanno tenuto conto:

- della latitudine locale, allo scopo di considerare il corretto diagramma solare;
- della geometria effettiva delle macchine previste, ed in particolare dell'altezza complessiva di macchina, intesa come somma tra l'altezza del mozzo ed il raggio del rotore;
- dell'orientamento del rotore rispetto al ricettore;
- della posizione del sole e quindi della proiezione dell'ombra rispetto ai ricettori;
- dell'orografia locale, tramite un modello digitale del terreno (DTM) dell'area di installazione del parco;
- della posizione dei possibili ricettori (abitazioni), nonché degli aerogeneratori (layout di progetto).

Come sopra accennato, le simulazioni effettuate sono state condotte in condizioni conservative, assumendo il cielo completamente sgombro da nubi, foschia, ecc. e nessun ostacolo interposto tra i ricettori individuati e gli aerogeneratori previsti in progetto.

Il programma effettua il calcolo delle ore del giorno in cui si potrebbe avere l'effetto del flickering sul ricettore considerato, facendo la somma dei minuti in cui il fenomeno risulta presente. Effettua poi la somma teorica dei minuti di ciascun mese (worst case) che poi può essere ridotta in considerazione delle giornate soleggiate, dell'operatività effettiva dell'impianto eolico, della direzione del vento ecc... Inoltre, avendo calcolato geometricamente l'evoluzione delle ombre durante la giornata, è possibile identificare l'area in cui avviene il fenomeno dello shadow flickering per ciascun aerogeneratore. Si ottengono così i dati sinteticamente riportati nella seguente tabella.

La frequenza dello shadow flickering è correlata alla velocità di rotazione del rotore; le frequenze tipiche per le macchine considerate nel presente progetto sono dell'ordine di 0,55-0,75 Hz (corrispondenti a 11 - 15 rpm, circa un passaggio ogni 1,8-1,3 secondi). In termini di impatto sulla popolazione, tali frequenze sono innocue; basti pensare che le lampade stroboscopiche, largamente impiegate nelle discoteche, producono frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

La tabella seguente riassume i risultati dell'analisi eseguita secondo la metodologia di calcolo descritta nelle sezioni precedenti.

Tabella 3: risultati del calcolo

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso “realistico”	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
R01	156	175,1	36,6	A3
R02	0	0	0,0	A4-C2
R03	99	86,5	18,1	A7
R04	117	97,7	20,4	A2
R05	133	120,3	25,1	A7

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
R06	123	120,6	25,2	A03
R07	0	0	0,0	A03
R08	0	0	0,0	A3
R09	52	17,9	3,7	A03
R10	34	11,6	2,4	A03/C06
R11	36	12,9	2,7	A02/A03/C02
R12	36	13,1	2,7	A02/A03/C02
R13	41	17,1	3,6	A07
R14	37	13,5	2,8	A02/A03/C02
R15	36	13,3	2,8	A02/A03/C02
R16	36	13,7	2,9	A04/C02
R17	36	13,7	2,9	A04/C02
R18	38	13,9	2,9	A04/C02
R19	41	16,1	3,4	A04/C02
R20	52	21,1	4,4	A03/A04/F01
R21	72	29,5	6,2	A03/F03
R22	83	35,1	7,3	A03/C06
R23	18	3,2	0,7	A04/C02/C07
R24	31	9,6	2,0	A03
R25	0	0,0	0,0	A03/F02
R26	35	11,9	2,5	A03/C02
R27	81	33,6	7,0	A03
R28	36	13,4	2,8	A01
R29	36	12,1	2,5	A02
R30	60	21,1	4,4	A02/A03/D10
R31	64	22,8	4,8	A02/D10
R32	70	23,8	5,0	A02/A03/D10
R33	84	28,4	5,9	A03/F05
R34	53	19,7	4,1	A03/A10
R35	53	19,7	4,1	A03/A10
R36	51	17,8	3,7	A04
R37	63	24,1	5,0	A07
R38	156	175,1	36,6	A04
R39	132	61,6	12,9	A03/F03
R40	102	42,3	8,8	A07/C02/F03
R41	80	34,8	7,3	A03/A02

Ricettore	Worst case (caso peggiore)		Caso “realistico”	Categoria catastale
	giorni/anno	ore/anno	[ore/anno]	
R42	82	36,3	7,6	A03/A02
R43	83	37,2	7,8	A03
R44	80	32,5	6,8	A03
R45	90	34,5	7,2	A03
R46	0	0	0,0	A03
R47	7	0,5	0,1	A03/F05
R48	31	8,3	1,7	A03
R49	35	12,5	2,6	A03
R50	24	8,7	1,8	A03
R51	41	13,7	2,9	A03/F01
R52	40	13,4	2,8	A02
R53	39	14,4	3,0	A03/A04/C02
R54	29	11	2,3	A03
R55	26	8,8	1,8	A04
R56	18	5,1	1,1	A03
R57	48	15,2	3,2	A03/F01
R58	46	14,7	3,1	A03
R59	75	27,2	5,7	A03/C02/F05
R60	35	4,4	0,9	A02
R61	0	0	0,0	A02

Nello specifico, la tabella precedente riporta il numero di giorni e di ore in cui è fisicamente possibile che il fenomeno si presenti (caso peggiore) e il valore realistico atteso di ore nell’arco dell’anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, valutato tenendo conto dell’eliofania locale nonché delle ore di funzionamento dell’impianto (rotore in rotazione), rappresenta comunque un valore cautelativo in quanto nella stima non si è tenuto conto degli effetti mitigativi dovuti al fatto che il piano di rotazione delle pale non sempre risulta ortogonale alla direttrice sole-ricettore e all’eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole ed il singolo ricettore analizzato.

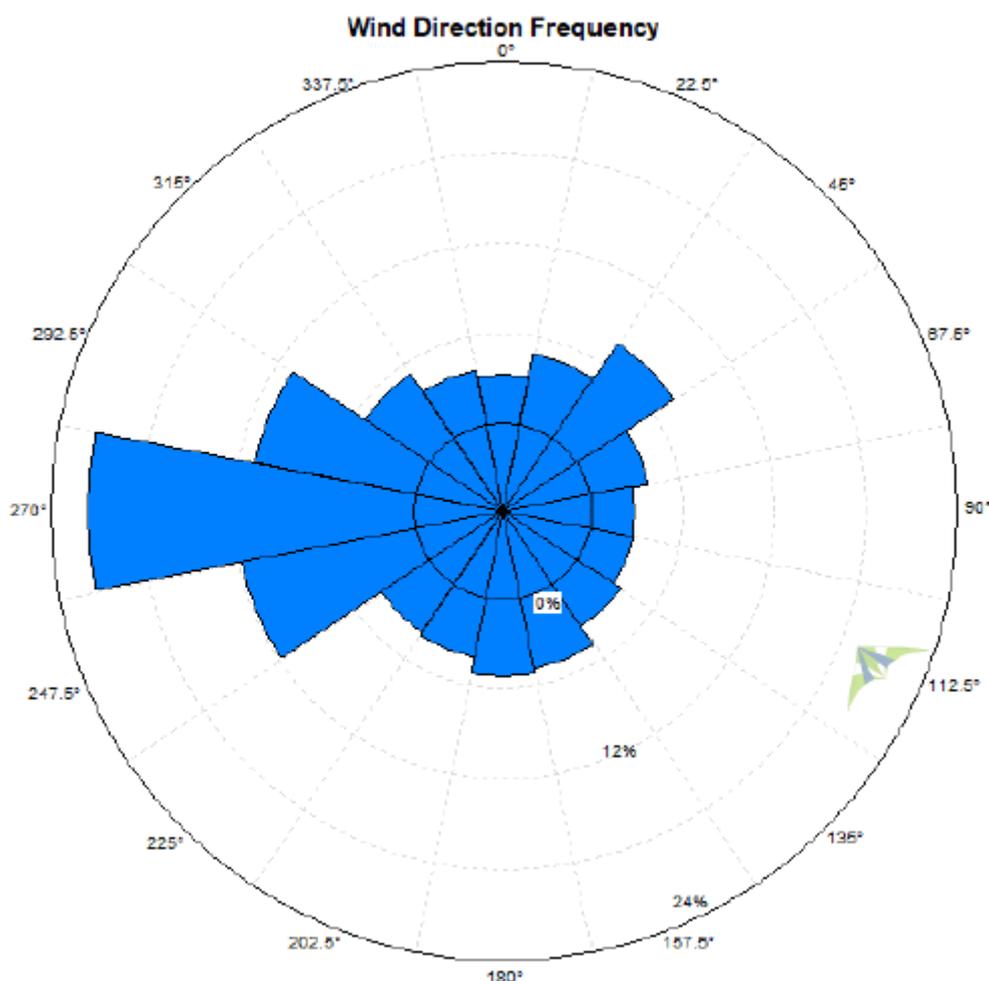
Dall’analisi della tabella si evince che, dei ricettori considerati nel buffer di 1.500 m dagli aerogeneratori, solo tre fabbricati, classificati come abitazione, risultano essere soggetti al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell’anno. Inoltre, nessuna abitazione risulta soggetta ad una durata superiore a 30 minuti al giorno.

Il dettaglio dei fabbricati che potrebbero essere soggetti al fenomeno dello shadow flickering è riportato nella tavola grafica allegata alla presente relazione.

In linea generale, l’effetto si può considerare trascurabile per via della scarsa durata del fenomeno che si riduce, nel caso realistico, a poche ore l’anno.

Infatti, se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (figura successiva) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati sopra riportati possono essere ridotti di almeno un ulteriore 66,0 %, dal momento che la direzione prevalente del vento risulta essere E - O, per un totale del 44%. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 20,90% di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

Figura 2: frequenza della direzione di provenienza del vento per la torre anemometrica di riferimento



Alla luce delle osservazioni appena condotte solamente 2 ricettori continuano a presentare un'esposizione al fenomeno, seppur minima, **alle 30 ore anno di riferimento, ovvero:**

- **R01** con 36,6 ore/anno;
- **R38** con 36,6 ore/anno.

A seguito di quanto descritto nelle sezioni precedenti si può concludere che, pur considerando una stima cautelativa in quanto non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di ostacoli e/o vegetazione interposti tra il sole e i ricettori considerati, il fenomeno dello shadow flickering, nonostante il fatto che si presenti per 2 ricettori per un totale di ore superiore a 30, non impatta negativamente sulla popolazione di dati in esame.

Inoltre, si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- limitati nello spazio, in quanto relativi solo a tre edifici molto prossimi;
- episodici durante l’anno e localizzati all’alba o al tramonto;
- di breve durata nel corso della giornata, in quanto ciascun edificio è interessato solo per un breve periodo;
- limitati come intensità, dal momento che la luce del sole, in condizioni di alba o tramonto, risulta di intensità modesta e, quindi, è modesta anche la variazione dovuta allo shadow flickering.

Va altresì sottolineato che:

- la velocità di rotazione dell’aerogeneratore di progetto è dell’ordine di 11 rotazioni al minuto, quindi nettamente inferiore a 60 rpm, frequenza massima raccomandata al fine di ridurre al minimo i fastidi e soddisfare le condizioni di benessere;

Alla luce di quanto sopra esposto, al fine di ridurre e/o annullare completamente il fenomeno in oggetto e di eliminare completamente qualunque disturbo indotto sulle abitazioni interessate potrà essere prevista, di concerto con i proprietari dell’immobile, come intervento di mitigazione, la piantumazione di barriere sempreverdi (normali siepi di recinzione).

Le distanze reciproche tra generatori eolici e ricettori, le condizioni orografiche del sito considerato, determinano la pressoché totale assenza del fenomeno in esame. In aggiunta, il fenomeno si manifesta su un numero limitatissimo di ricettori esclusivamente quando il sole presenta un'altezza inferiore ai 15° sull’orizzonte, pertanto può ritenersi trascurabile, per l'elevata intensità della radiazione diffusa rispetto a quella diretta.

È comunque utile sottolineare che, a vantaggio di sicurezza, le simulazioni effettuate sono state eseguite in condizioni non realistiche, ipotizzando che si verificano contemporaneamente le condizioni più sfavorevoli per un determinato ricettore potenzialmente soggetto a shadow flickering, ovvero concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta. Pertanto, si sottolinea che i risultati presentati rappresentano il caso peggiore in cui si verificano i fattori sopra esposti in concomitanza per cui è ragionevole ritenere che tale fenomeno possa essere difficilmente percepito nelle condizioni reali.

Inoltre qualora nonostante le simulazioni effettuate, il fenomeno risultai un problema per i ricettori maggiormente esposti, si potrà provvedere alla piantumazione di alberi lungo la congiungente ricettori-aerogeneratori, in modo da eliminare totalmente il fenomeno.

In allegato è riportata la mappa delle ore di ombreggiamento (shadow flickering) nel worst case così come elaborata dal modello impiegato.

LEGENDA

-  Ricettori shadow flickering
-  Layout

LEGENDA			
	0-30 ore/anno		90-120 ore/anno
	30-60 ore/anno		120-150 ore/anno
	60-90 ore/anno		150-180 ore/anno

KEYMAP

