



REGIONE
SARDEGNA



COMUNE DI
PUTIFIGARI



COMUNE DI
ITTIRI



PROVINCIA DI
SASSARI

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Monte Rosso" con potenza di immissione in rete pari a 92.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Putifigari ed Ittiri (SS)

Titolo elaborato

Studio sugli effetti dello shadow flickering

Codice elaborato

F0529AR06A

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. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Flavio TRIANI
Ing. Gerardo SCAVONE
Ing. Monica COIRO
Ing. Simone LOTITO
Arch. Gaia 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

Committente



wpd Monte Rosso S.r.l.

Viale Regina Margherita 33, 09124 Cagliari (CA)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Febbraio 2023	Prima emissione	FTR	GMA	GDS

Sommario

1	Informazioni essenziali	3
2	Premessa	4
3	Il fenomeno dello shadow flickering	5
4	Individuazione dei ricettori	8
5	Modello di calcolo	10
6	Risultati	13
7	Analisi delle interferenze	15

1 Informazioni essenziali

Proponente	wpd Monte Rosso S.r.l.
Potenza nominale complessiva	92.4 MW
Potenza di immissione in rete	92.4 MW
Potenza nominale massima singola WTG	6.6 MW
Numero aerogeneratori	14
Altezza hub	165 m
Diametro rotore	170 m
Altezza totale	250 m
Lunghezza pala	85 m
Area poligono impianto	6.307 Km ²

2 Premessa

Il presente studio presentato, da parte della società wpd Monte Rosso S.r.l., Viale Regina Margherita 33, 09124 Cagliari (CA), in qualità di proponente, è stato redatto in riferimento alla realizzazione di un parco eolico sito nei territori comunali di: Putifigari ed Ittiri in provincia di Sassari, e costituisce parte integrante del progetto definitivo.

Il parco in oggetto sarà costituito da n. 14 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con potenza complessiva in immissione di 92.4 MW, STMG Terna ID 202100120. In particolare, Putifigari ed Ittiri saranno interessati dall'installazione dei 14 aerogeneratori, dal tracciato del cavidotto di collegamento alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) e dalle altre opere connesse. Il tracciato dell'elettrodotto seguirà prevalentemente la viabilità esistente.

wpd ha come mission lo sviluppo delle energie sostenibili, attraverso know-how avanzato, innovazione tecnologica e integrazione con il territorio e le comunità locali. Questi sono i quattro fattori chiave grazie ai quali il marchio wpd, presente in Italia dal 2006, è diventato anche nel nostro Paese uno dei punti di riferimento nel settore chiave delle energie rinnovabili, in particolare dell'eolico.

wpd opera in Italia con un doppio approccio: da un lato con lo sviluppo di progetti "green field", dall'altro con l'acquisizione di progetti già autorizzati per portarli a realizzazione. In particolare, lo sviluppo di progetti in proprio rappresenta una delle attività specifiche di wpd Italia, che si avvale, a seconda dei casi, anche del supporto di collaboratori esterni ben inseriti nel territorio che hanno il compito di contribuire a integrare le esigenze peculiari delle varie realtà locali con quelle del progetto specifico. Unendo da un lato le capacità finanziarie, gestionali e tecnologiche, dall'altro l'attività di acquisizione di progetti in via di sviluppo o autorizzati, wpd Italia si pone come il partner industriale ideale per affrontare la sfida dell'energia rinnovabile. Nell'interesse di tutti gli attori coinvolti, a partire da quelli del territorio. Il Gruppo wpd nasce in Germania, a Brema, nel 1996. Da oltre 20 anni opera nel settore delle energie rinnovabili, in particolare da fonte eolica. Il Gruppo, in continuo sviluppo, è presente con le sue società controllate in 28 Paesi (Europa, Asia, America del nord), dove lavorano oltre 3500 persone. Ad oggi il Gruppo wpd ha installato oltre 2550 torri eoliche – con una capacità totale di circa 5740 MW – ed è direttamente responsabile del funzionamento e della gestione di 513 parchi eolici, equivalenti a 5.3 GW di potenza installata. Il Gruppo ha ottenuto il riconoscimento "A" dall'agenzia di rating Euler Hermes del gruppo Allianz, a testimonianza dell'alta affidabilità finanziaria dell'impresa. Nel 2006 wpd fa il suo ingresso nel mercato italiano delle energie rinnovabili con la progettazione di 3 impianti solari fotovoltaici – 2 in Calabria nel Comune di Lamezia Terme (CZ) ed 1 nel Lazio nel Comune di Minturno (LT), ognuno della potenza di 1 MW – che, in esercizio dal 2008, sono stati tra i primi impianti di grande taglia autorizzati ad aver goduto della tariffa incentivante del Primo Conto Energia. wpd Italia ha in corso di Autorizzazione oltre 900 MW di progetti eolici in Puglia, Lazio, Calabria, Campania e Sardegna.

La presente relazione ha l'obiettivo di illustrare il fenomeno dello "shadow flickering" e di valutare il suo effetto nell'area circostante determinato dall'impianto eolico in esame

L'aerogeneratore preso come riferimento per la presente verifica e previsto in progetto è del tipo Siemens Gamesa SG-170 6.6 MW-HH165 o similare.

3 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 inferiore ai 15 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 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.

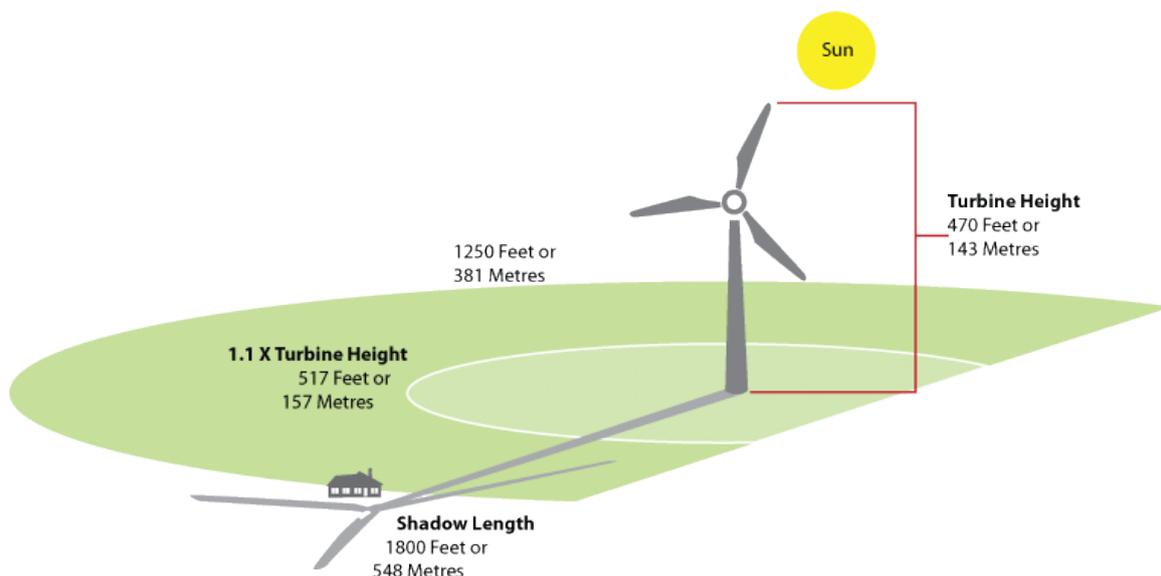


Figura 1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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 ricevitore - 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 ricevitore all'aerogeneratore in assenza di ostacoli fisici (alberi, altri edifici ecc...);
- orientamento perpendicolare del rotore rispetto alla congiungente sole - ricevitore: infatti, quando il piano del rotore è perpendicolare alla linea sole-ricevitore, 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:

- le pale del rotore siano ovviamente in rotazione;
- l'aerogeneratore ed il potenziale ricevitore 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 ricevitore molto prossimo all'aerogeneratore, una porzione ampia di pala copre il disco solare così come osservato dal punto di vista del ricevitore stesso, e, quindi, l'intensità del flicker risulta maggiormente percepibile. All'aumentare della distanza tra aerogeneratore e ricevitore, 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 ricevitore (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 ricevitore – 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÷1000 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 ricevitore;
- l'intensità del flickering sarà minima quando l'ombra prodotta è generata all'estremità delle pale;

- maggiori distanze tra generatore e ricevitore 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 ricevitore;
- 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.

4 Individuazione dei ricettori

Allo scopo di valutare l'impatto indotto sugli edifici da parte dell'impianto eolico in progetto, sono stati individuati i recettori potenzialmente sensibili presenti nell'area in esame. Nello specifico, con riferimento alla D.G.R. n59/90 del 27.11.2020, sono stati presi in considerazione:

- i corpi aziendali agro-pastorali in cui sia accertata la presenza continuativa di persone nell'orario diurno in un buffer di 300m dagli aerogeneratori;
- case rurali ad utilizzazione residenziale di carattere stagionale in un buffer di 500m dagli aerogeneratori;
- nuclei di case sparse nell'agro, destinate ad uso residenziale in un buffer di 700m dagli aerogeneratori.

Inoltre al fine di fornire un quadro completo del fenomeno, sono stati esaminati tutti i fabbricati di tipo residenziale presenti all'interno del buffer corrispondente all'inviluppo delle aree buffer circolari di raggio pari a 10 volte il diametro del rotore (nel caso in esame 1700 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 170 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 2,0 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 recettori individuati nel buffer sopra specificato.

Tabella 1: Riepilogo dei ricettori in esame

Ricettori	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 32		Categoria Catastale	Comune
	Est	Nord		
R01	457234	4492893	A04	Ittiri
R02	459901	4491448	A03	Ittiri
R03	460319	4490783	A03	Ittiri
R04	457616	4491263	A03	Ittiri
R05	455945	4491283	A04/D10	Putifigari
R06	455601	4491348	A03/D10	Putifigari
R07	460520	4490261	A04	Ittiri
R08	455956	4489809	A03	Putifigari
R09	455249	4489365	A03	Putifigari
R10	456357	4491623	D10	Putifigari

Di seguito si riporta un inquadramento su ortofoto dell'impianto di progetto con relative coordinate geografiche.

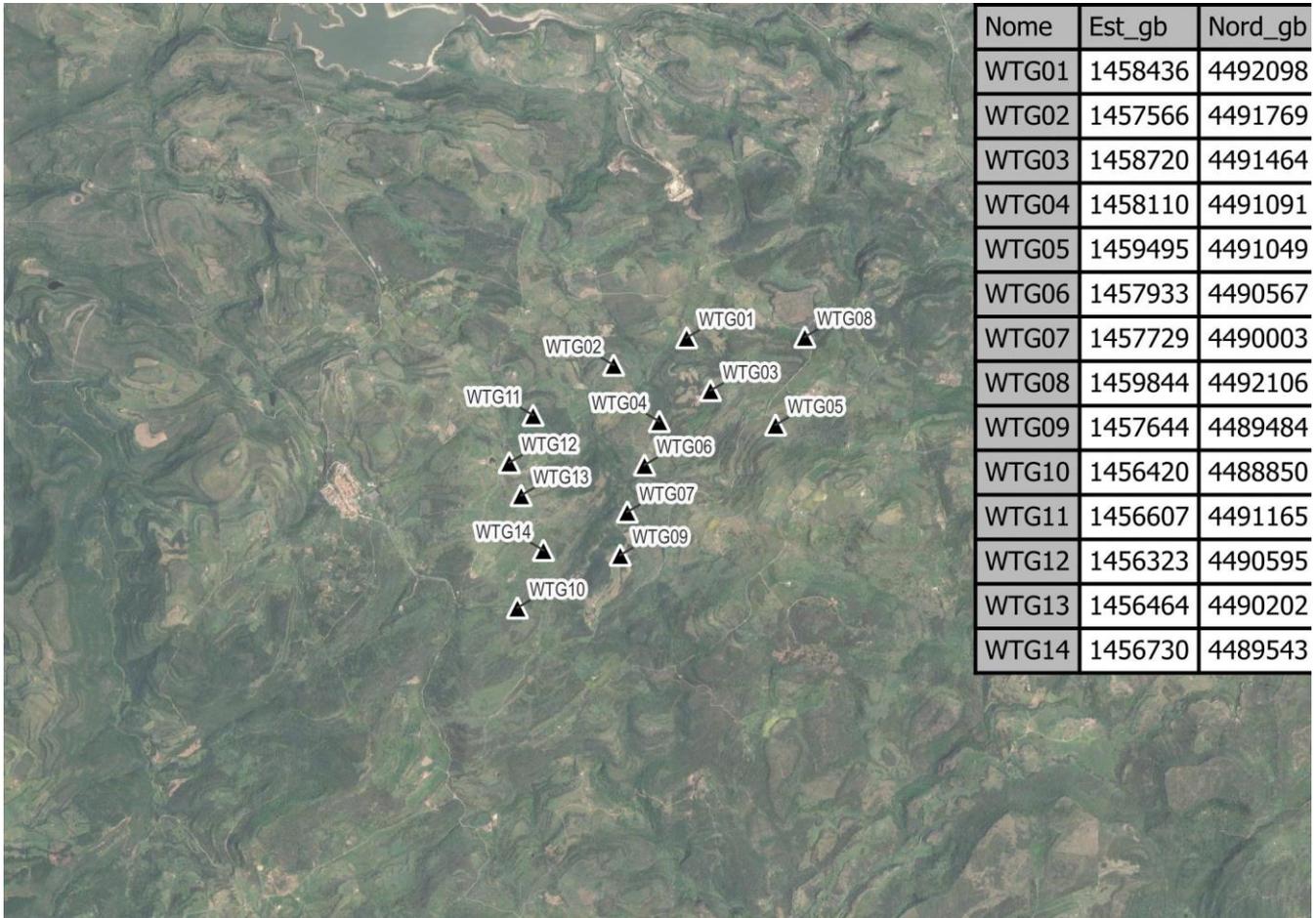


Figura 2: Inquadramento su ortofoto

5 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 (1700 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. 4380 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 2600 h/a^{1,2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 40,64 %, pari al complemento a 1 del rapporto 2600/4380 = 59,36%.

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 40,64 % 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 (8760 h).

Per il parco eolico in esame le ore macchina sono state stimate pari al 73,25%³ delle ore anno, ovvero 6417 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in rotazione è appunto dell'ordine del 73,25 % (pari appunto al rapporto 6417/8760).

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 59,36% x 73,25% = 43,48 %, ovvero **56,52 %**, 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.

Inoltre, se si considera il grafico della frequenza relativa alla direzione di provenienza del vento (cfr. **Figura 3: Rosa dei venti**) per la torre anemometrica del parco eolico in oggetto si evince che i risultati sopra riportati possono essere ridotti di almeno un ulteriore 61,0 %, dal momento che le direzioni prevalenti del vento risulta essere la congiungente E-O. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 16,96% di quelle calcolate dal modello nell'ipotesi WORST CASE.

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 75,5% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 73,25% sembra molto ragionevole.

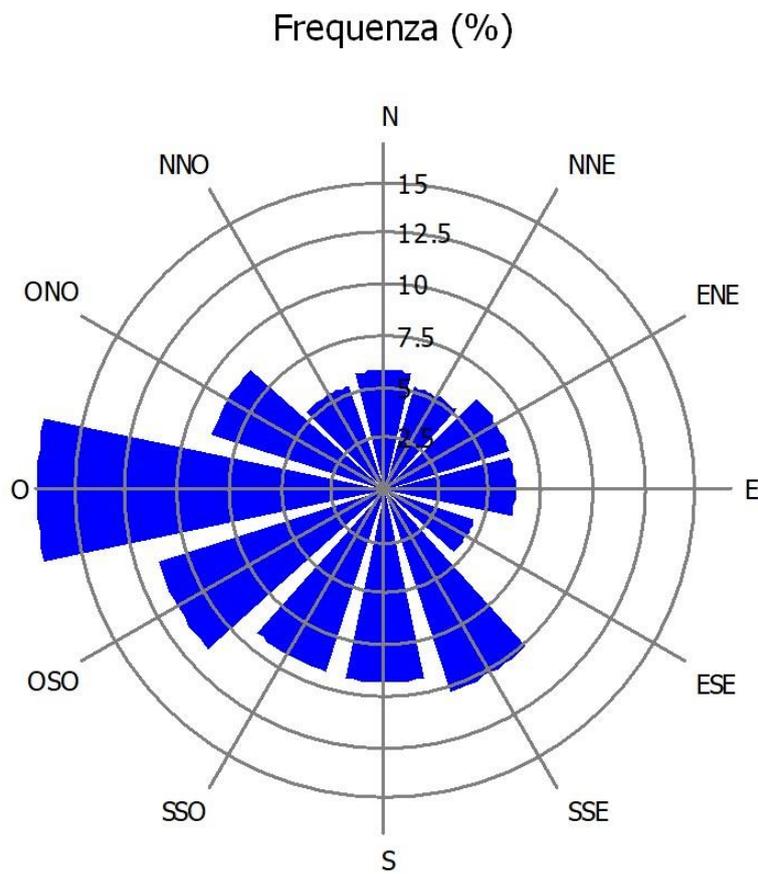


Figura 3: Rosa dei venti

6 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 2: Riepilogo della simulazione

Ricettore	giorni/anno	Worst case (caso peggiore)		Caso "realistico"		Categoria catastale
		ore/anno	minuti/giorno	ore/anno	minuti /giorno	
R01	56	22,2	23,8	3,8	4,0	A04
R20	211	143	40,7	24,2	6,9	A03
R03	93	55,9	36,1	9,5	6,1	A03
R04	231	182,5	47,4	30,9	8,0	A03
R05	169	95,1	33,8	16,1	5,7	A04/D10
R06	125	69,3	33,3	11,8	5,6	A03/D10
R07	0	0	0,0	0,0	0,0	A04
R08	70	54,6	46,8	9,3	7,9	A04
R09	82	33,6	24,6	5,7	4,2	A03
R10	170	147,8	52,2	25,1	8,8	A04

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. In aggiunta, sempre per un'ipotesi a vantaggio di sicurezza, non si è tenuto conto della stagionalità del fenomeno.

Dalle analisi svolte si evince che, dei ricettori considerati nel buffer di 1700 m dagli aerogeneratori, solo un fabbricato, classificato come abitazione (**R04**), risulta essere soggetto al fenomeno per un numero di ore pari al limite considerato di 30 ore/anno. Inoltre, è da tener presente come **nessuna** abitazione risulta soggetta ad una durata superiore a 30 minuti al giorno.

Essendo che il fabbricato etichettato come R04 risulta essere soggetto al fenomeno dello shadow flickering per un numero di ore pari al limite considerato, è opportuno fare alcune considerazioni.

Tale ricettore, accatastato come A03, presenta un'esposizione al fenomeno pari a 30,90 ore/anno. È opportuno ribadire come anche nel 'real case', a valle di tutte le considerazioni effettuate, siamo ancora in presenza di valori cautelativi, che tendono a sovrastimare il reale numero di ore in cui materialmente si presenta il fenomeno. Inoltre, a causa della natura dello stesso, è molto probabile che il fenomeno si presenti in corrispondenze delle prime ore del mattino e del tramonto. In queste fasi della giornata, dove il sole è prossimo alla linea dell'orizzonte le ombre risultano essere flebili e allungate, di conseguenza il fenomeno, seppur presente, avrebbe impatti ridotti. Qualora si dovesse ritenere opportuno intervenire al fine di mitigare il fenomeno, si possono ipotizzare delle misure di mitigazione. Nel caso specifico, la misura migliore consiste nella piantumazione di specie arboree/arbustive ad accrescimento rapido, compatibili con il contesto in cui si inserisce il progetto, da posizionarsi tra l'aerogeneratore maggiormente impattante e il fabbricato. Naturalmente, qualora si ritenga opportuno, tali misure verranno implementate di comune accordo con il proprietario.

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

7 Analisi delle interferenze

In ossequio con la D.G.R. n59/90 del 27.11.2020 (Allegato-e) si analizza l'evoluzione dell'ombra giornaliera e il possibile impatto sulla viabilità esistente.

Difatti a causa del fenomeno dello shadow flickering potrebbero crearsi dei fenomeni di gelo che potrebbero influire sulla sicurezza della circolazione. Al fine di comprendere tale fenomeno, è opportuno analizzarne la genesi. La formazione del gelo può avvenire:

- In presenza di precipitazioni e con adeguate temperature;
- Durante le prime fasi della mattina (congelamento della brina) e con adeguate temperature.

Nel primo caso è molto probabile che, seppur in movimento, le pale eoliche non producano il fenomeno dello shadow flickering, in quanto il sole risulterebbe coperto da eventuali nubi. Di conseguenza il fenomeno del gelo, in questo caso, non risulterebbe direttamente riconducibile alla realizzazione del parco eolico.

Nel secondo caso la formazione del gelo avverrebbe nelle prime fasi del mattino a causa del congelamento della brina. È da tener presente come, qualora le pale risultassero in movimento, la presenza del vento andrebbe a rompere l'equilibrio termico della brina, rendendo ancora più difficile la formazione del gelo.

In definitiva l'impatto dello shadow flickering sulla formazione del gelo risulta trascurabile. Inoltre è da tener presente che gli aerogeneratori sono adeguatamente distanziati dalla viabilità principale, riducendo quindi l'effetto di quest'ultimo. Mentre, per quanto riguarda le interferenze con la viabilità locale, oltre le considerazioni precedentemente effettuate, è opportuno considerare il basso quantitativo di utenti. Di fatti il gelo, oltre avere scarse probabilità di formarsi a causa dello shadow flickering, sarebbe difficilmente percepito da possibili utenti.

Di seguito si allega l'inquadramento su ortofoto con il diagramma dello shadow flickering.

LEGENDA

0-30 ore/anno	90-120 ore/anno	180-210 ore/anno
30-60 ore/anno	120-150 ore/anno	
60-90 ore/anno	150-180 ore/anno	

Parco eolico 'Monte Rosso'

- Buffer 1700m
- Layout
- Buffer 300m
- Buffer 500m
- Buffer 700m
- ◆ Ricettori

