



REGIONE BASILICATA
 PROVINCIA DI POTENZA
 COMUNE DI MELFI



AUTORIZZAZIONE UNICA

ex. d.lgs. 387/03

Progetto Definitivo per la realizzazione del parco
 eolico "SANTA IRENE" e relative opere connesse
 nel comune di MELFI (Pz)

Titolo elaborato

**A.8 - Studio sugli effetti dello shadow
 flickering**

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0389	A	R09	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Marzo 2021	Prima emissione	FTR	GDS	GMA

Proponente

Oceano Rinnovabili s.r.l.

Largo Augusto 3
 20122 Milano



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)



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





Sommario

1	Introduzione	2
2	Individuazione dei ricettori	5
3	Modello di calcolo	7
4	Risultati	9

1 Introduzione

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.

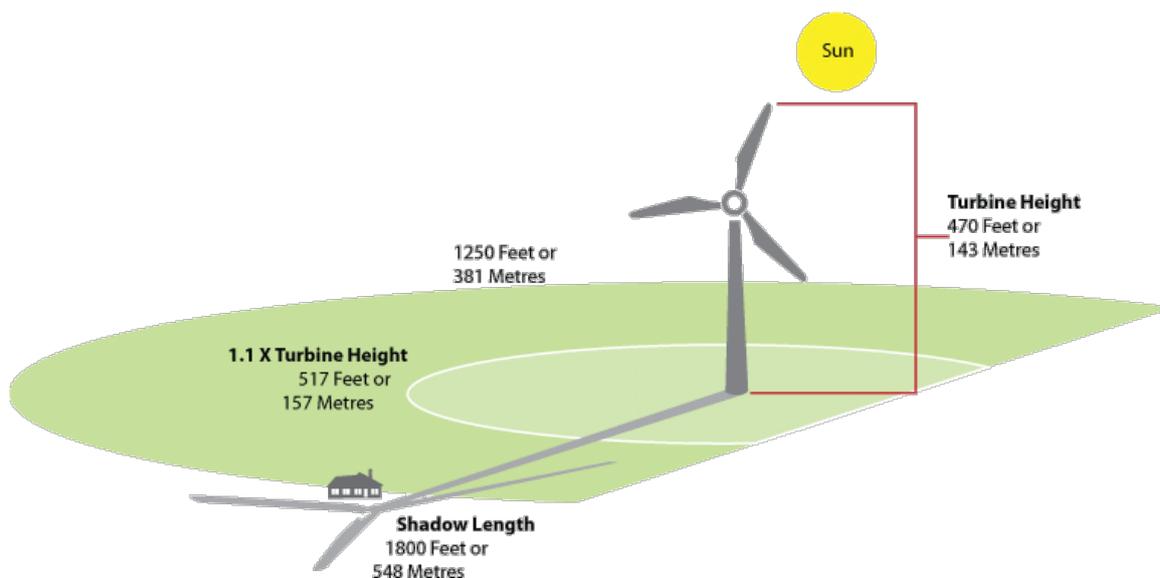


Figura 1: rappresentazione schematica del fenomeno dello shadow flicker

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 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:
- 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 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 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.



2 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 1490 m) del modello di aerogeneratore previsto in progetto (D pari a 149 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 finestrate 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: Tabella ricettori considerati

Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Nord	Est		
R01	558817	4547785	D/10	Melfi
R02	560937	4548156	A/2	Melfi
R03	560964	4548208	A/2	Melfi
R04	562549	4547055	A/3	Melfi
R05	562599	4547024	A/3	Melfi
R06	562562	4546966	A/3	Melfi
R07	562580	4546955	A/3	Melfi
R08	562860	4546938	A/2	Melfi
R09	561626	4545688	A/4,C2	Melfi
R10	562075	4544183	D/10, A/4	Melfi
R11	562027	4544224	D/10	Melfi
R37	561650	4544008	D/10, A/3	Melfi
R12	563300	4548094	D/10, A/4	Melfi
R13	563330	4548068	D/10, A/4	Melfi
R14	563318	4548091	D/10, A/4	Melfi
R15	563308	4548050	D/10, A/4	Melfi
R16	562664	4548129	D/10	Melfi
R17	562674	4548129	D/10, A/3	Melfi
R18	562680	4548090	A/3,D/10	Melfi
R19	562678	4548158	D/10	Melfi
R20	562695	4548127	A/3,D/10	Melfi



Ricettore	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		Categoria Catastale	Comune
	Nord	Est		
R21	562034	4547866	A/3,D/3	Melfi
R22	562055	4547855	A/3,D/10	Melfi
R23	559914	4547545	A/3,D/10	Melfi
R24	561519	4547309	A/3	Melfi
R25	561473	4547255	A/3,D/10	Melfi
R26	561114	4547071	A/3,D/1	Melfi
R27	561676	4546996	A/3	Melfi
R38	560176	4549381	A/3	Ascoli Sat
R39	561602	4548776	A/3,D/10	Melfi
R40	564199	4547708	D/10	Lavello
R41	564211	4547717	D/10	Lavello
R42	563805	4546642	A/3,D/10	Lavello
R43	561482	4548732	A/3	Melfi
R28	561462	4548731	A/3	Melfi
R29	561624	4547061	A/2	Melfi
R30	561548	4547040	A/2	Melfi
R31	561540	4547083	A/2,A/10	Melfi
R32	561502	4547079	A/2	Melfi
R33	561480	4547012	A/3	Melfi
R34	561550	4547455	A/3,D/1	Melfi
R35	561657	4547487	A/3,D/1	Melfi
R36	561821	4547213	A/2	Melfi

La seguente tabella riporta le coordinate degli aerogeneratori previsti in progetto (Vestas V150 5.6 MW – D 150 m, h Hub 125 m).

Tabella 2: coordinate aerogeneratori di progetto

WTG	Coordinate UTM-WGS 84 fuso 33		D	hHub
	Est	Nord		
MEL1	559392	4547925	149	105
MEL2	559989	4548170	149	105
MEL3	560643	4548175	148	105
MEL4	562822	4547404	149	105
MEL5	562130	4546670	149	105
MEL6	561527	4546246	149	105



3 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 (1490 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 2400 h/a^{1, 2}, quindi, i risultati del calcolo possono, ragionevolmente, essere abbattuti del 45.21 %, pari al complemento a 1 del rapporto $2350/4380 = 54.79 \%$.

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 54.79 % 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, come desumibili da quanto riportato nello studio anemologico, risultano pari a circa il 75.35%³ delle ore anno, ovvero 6601 ore; in altri termini, la probabilità che il rotore di un aerogeneratore risulti in movimento è appunto dell'ordine del 75.35 % (pari al rapporto 6601/8760).

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 $75.35 \% \times 54.79 \% = 33.61 \%$, ovvero **58.71 %**, 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 di 3 m/s, le ore macchina dovrebbero essere dell'ordine del 77.66% di quelle annuali. Tenendo conto dei valori di disponibilità dell'impianto e della rete rispettivamente pari a 98% e 99%, l'assunzione del 75.35% sembra molto ragionevole.

4 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 recettori;
- 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 nelle seguenti figure.

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 0.6-0.75 Hz (corrispondenti a 12 - 15 rpm, circa un passaggio ogni 1.6-1.3 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]	
RC01	131	103.3	14.1	D/10
RC02	173	251.1	34.2	A/2
RC03	137	193.2	26.3	A/2
RC04	0	0	0.0	A/3
RC05	0	0	0.0	A/3
RC06	57	40.2	5.5	A/3
RC07	71	57.2	7.8	A/3
RC08	94	54.1	7.4	A/2
RC09	0	0	0.0	A/4,C2
RC10	0	0	0.0	D/10,A/4
RC11	0	0	0.0	D/10
RC12	0	0	0.0	D/10,A/4
RC13	0	0	0.0	D/10,A/4
RC14	0	0	0.0	D/10,A/4
RC15	0	0	0.0	D/10,A/4
RC16	0	0	0.0	D/10
RC17	0	0	0.0	D/10,A/3
RC18	0	0	0.0	A/3,D/10
RC19	0	0	0.0	D/10
RC20	0	0	0.0	A/3,D/10
RC21	83	29.3	4.0	A/3,D/3
RC22	83	30.3	4.1	A/3,D/10
RC23	0	0	0.0	A/3,D/10
RC24	37	11.2	1.5	A/3
RC25	38	10.6	1.4	A/3,D/10
RC26	76	31	4.2	A/3,D/1
RC27	133	54.6	7.4	A/3
RC28	0	0	0.0	A/3
RC29	56	18.5	2.5	A/2
RC30	101	41.6	5.7	A/2
RC31	48	14.2	1.9	A/2,A/10
RC32	76	23.9	3.3	A/2
RC33	132	70.9	9.7	A/3
RC34	37	11.6	1.6	A/3,D/1
RC35	40	14.2	1.9	A/3,D/1
RC36	54	23.1	3.1	A/2
RC37	0	0	0.0	D/10,A/3
RC38	0	0	0.0	A/3
RC39	0	0	0.0	A/3,D/10
RC40	38	11.5	1.6	D/10
RC41	37	11.3	1.5	D/10
RC42	0	0	0.0	A/3,D/10
RC43	0	0	0.0	A/3



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 l'anno in cui il fenomeno potrebbe presentarsi. A tal proposito è importante sottolineare che anche il caso realistico, calcolato tenendo conto dell'eliofania locale e delle ore di funzionamento dell'impianto, è 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.

Dall'analisi della tabella si evince che, dei ricettori considerati nel buffer di 1490 m dagli aerogeneratori, solo un fabbricato, classificato come abitazione, risulta essere soggetto al fenomeno per un numero di ore superiore a 30 nel corso dell'anno. Inoltre, lo stesso (R02) risulta soggetto anche ad una durata superiore a 30 minuti al giorno.

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.

Se si considera, infine, la rosa dei venti, ovvero la distribuzione polare 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 13.62 % rispetto al WORST CASE, dal momento che le direzioni di provenienza del vento che determinerebbero il fenomeno sul ricettore R02 (rotore ortogonale alla congiungente sole ricettore) risultano essere NNO per un totale del 33%. Alla luce di ciò, le ore del fenomeno subiscono un ulteriore abbattimento, che le porta ad essere circa il 13.62% di quelle determinate dal modello WORST CASE.

Alla luce di ciò, l'unico ricettore (abitazione) che continua ad essere soggetto al fenomeno dello shadow flickering per più di 30 ore l'anno è quello individuato come R02, che, in particolare risulta soggetto al fenomeno **per circa 34 ore** (nell'arco dell'intero anno), e mai per più di trenta minuti al giorno.

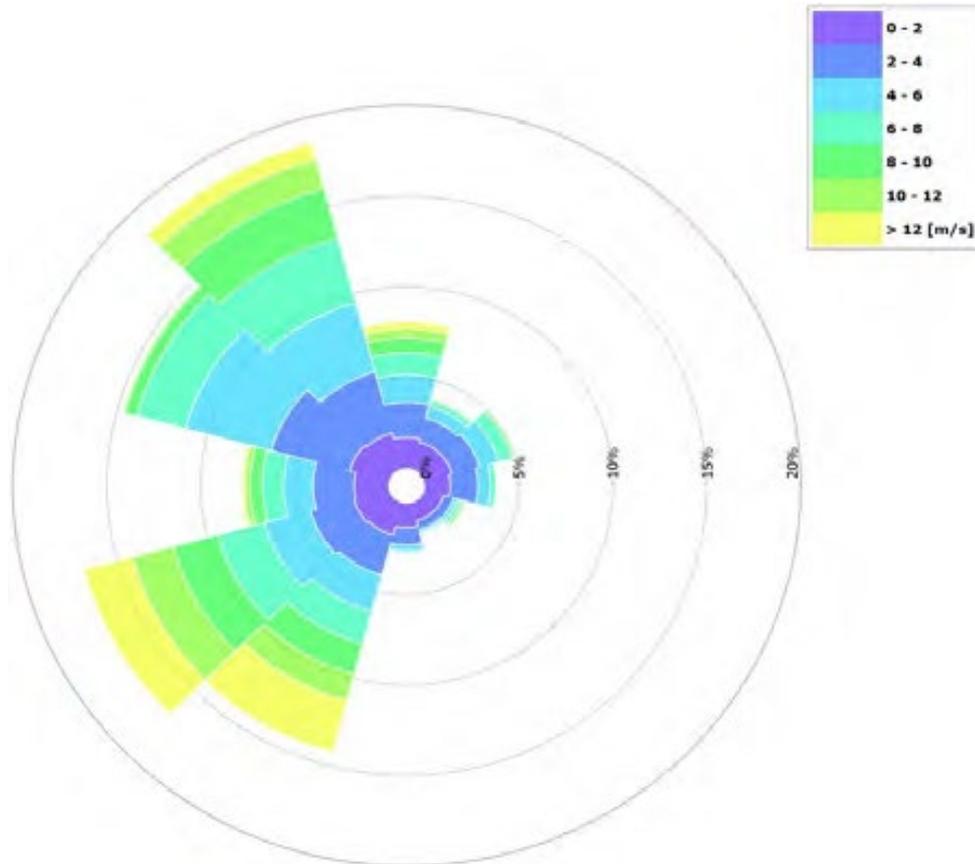


Figura 2: frequenza della direzione del vento per la torre anemometrica di riferimento

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 si verifica per oltre 30 ore l'anno esclusivamente su un'abitazione, incidendo in maniera molto limitata e poco significativa, in quanto il valore atteso massimo è risultato dell'ordine delle 39 ore l'anno.

Inoltre si rappresenta che si tratta di fenomeni:

- 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 10 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 in concomitanza dei seguenti fattori: assenza di nuvole o nebbia, rotore frontale ai ricettori, rotore in movimento continuo, assenza di ostacoli, luce diretta ecc....

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

0 0,75 1,5 km

Legenda

-  Ricettori
-  layout
- Google Satellite

